

Evaluación De La Eficiencia Del Desalinizador Por Evaporación En El Tratamiento De Agua
Subterránea En Barranquilla En Dos Escenarios: Universidad De La Costa Y Lavadero De
Carros

Andrea Patricia De Lima Bolaño

Silvia Juliana Orozco Martínez



Corporación Universidad De La Costa

Departamento de Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla

2019

Evaluación De La Eficiencia Del Desalinizador Por Evaporación En El Tratamiento De Agua
Subterránea En Barranquilla En Dos Escenarios: Universidad De La Costa Y Lavadero De
Carros

Andrea Patricia De lima Bolaño

Silvia Juliana Orozco Martínez

Trabajo de investigación presentado para obtener el título de Ingeniero Ambiental

Asesor:

Fabian Alberto Atencio Sarmiento

Co-asesor:

Jorge Enrique Calderón Madero

Corporación Universidad De La Costa

Departamento de Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia

2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, Atlántico

Dedicatoria

Primero que todo este pequeño triunfo está dedicado a Dios, por ser guía, inspiración y fortaleza en mi formación personal y profesional, y que gracias a él todo esto fue posible, a mis padres Gustavo Enrique De lima Benítez y Mónica Patricia Bolaño Bermúdez quienes desde un principio me brindaron todo su amor, confianza y apoyo incondicional para hacer de mí una profesional, a mi primo Jossie Esteban Carrillo Bolaño que está en el cielo, por ser mi guía, mi motor y mi inspiración para salir adelante y poder cumplir este gran sueño de ser una profesional, a mis profesores Fabián Atencio Sarmiento y Jorge Calderón Madero, por todo su apoyo y consejo. Por último, quiero agradecer a mis compañeras de la carrera especialmente a mi compañera y amiga Silvia Juliana Orozco Martínez por su motivación y apoyo en todo momento.

Andrea Patricia De lima Bolaño

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por darme fuerza e inspiración para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados, a la memoria de mi madre Mariela Martínez Galvis, por enseñarme a que hiciera las cosas que me gustan y siempre llevarlas hasta el final, a mi padre Jorge León Orozco Pérez por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, a mi hermana Valentina Orozco Martínez por estar ahí e impulsarme a ser un mejor ejemplo en su vida, al resto de mi familia y a mis compañeros de carrera especialmente a Andrea De Lima por aguantarme y acompañarme en mis ideas y finalmente a los profesores Fabián Atencio Y Jorge Calderón por sus consejos, guía y correcciones durante la realización de este trabajo. Agradezco a todos por brindarme su apoyo, su paciencia y su cariño que me impulso a culminar este sueño.

Silvia Juliana Orozco Martínez.

Agradecimientos

Primero que todo darle gracias a Dios por ser nuestra guía en todo momento y darnos el don de la paciencia, entendimiento y claridad para poder llevar todo a cabo, gracias a él todo esto es posible, a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueño que en todo momento creyeron en nosotras, nos apoyaron y motivaron incondicionalmente para ser de nosotras unas profesionales, especialmente a él señor Jorge Orozco por ayudarnos en la fabricación del prototipo, a nuestras compañeros de carrera por los maravillosos momentos que tuvimos juntos, a la Universidad De La Costa – CUC por brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente en ella, a nuestros profesores por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra carrera, por ayudarnos y formarnos como profesionales, de manera especial a nuestros tutores de tesis Fabián Alberto Atencio Sarmiento y Jorge Enrique Calderon Madero por creer en nosotras y aclarar cualquier tipo de duda que nos surgiese y habernos motivado a realizar esta tesis.

Resumen

El proyecto presenta un sistema desalinizador utilizado con el fin de ablandar aguas duras. Para esto, se realizó la recolección y análisis inicial en los parámetros fisicoquímicos como lo son pH, Temperatura, Color, Alcalinidad, Turbiedad, Salinidad, Dureza cálcica y total de muestras procedentes de dos (2) lugares de la ciudad de Barranquilla, Atlántico, Lucciana Car Wash y la Universidad De La Costa CUC. Luego de ser caracterizadas, las muestras, pasaron por el sistema desalinizador que consta de dos fases, el primero es la evaporación, que se realiza en un recipiente de aluminio donde se vierte el agua y se calienta hasta su punto de ebullición; y el segundo es la condensación donde el vapor generado en la primera fase pasa a una cabina de vidrio obteniendo como resultado final agua desalada. Este proceso probó ser muy efectivo al momento de retirar las sales causantes de la dureza en las muestras analizadas retirando el 100% de las sales disueltas en ellas y teniendo un 69.24% de eficiencia de remoción de la dureza, además de ser un método fácil y accesible de usar. Ahora bien, si se desea utilizar este método para potabilizar el agua, debe ser acompañado por procesos de desinfección y neutralización del pH debido a que al retirar dichas sales el agua se vuelve más ácida.

Palabras clave: Agua dura, Desalinización, Dureza, Evaporación, Destilación, Sistema

Abstract

The project presents a desalination system used to soften hard water. For this, the initial collection and analysis was carried out in the physicochemical parameters such as pH, Temperature, Color, Alkalinity, Turbidity, Salinity, Calcium hardness and total sample samples (2) places in the city of Barranquilla, Atlántico, Lucciana Car Wash and the Universidad De La Costa CUC. After being characterized, the samples passed through the desalination system consisting of two phases, the first is evaporation, which is carried out in an aluminum container where the water is poured and heated to its boiling point; and the second is the condensation where the steam generated in the first phase passes to a glass cabin obtaining as a result desalinated water. This process proved to be very effective when withdrawing the sales causing the hardness in the analyzed samples by withdrawing 100% of the sales dissolved in them and having a 69.24% efficiency of hardness removal, in addition to being an easy method already Accessible to use. However, if you want to use this method to purify the water, it must be accompanied by disinfection and pH neutralization processes because when you remove the sales of water it becomes more acidic.

Keywords: Hard water, Desalination, Hardness, Evaporation, Distillation, System

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	13
Lista de ecuaciones	15
Lista de anexos	16
Introducción	17
Planteamiento del problema	19
Justificación.....	23
Objetivos	25
Objetivo general	25
Objetivos específicos	25
Estado del arte	26
Investigaciones internacionales:.....	27
Investigaciones nacionales:	34
Investigaciones locales:.....	39
Marco teórico.	41
Generalidades del agua	41
Aguas subterráneas.....	42
Propiedades fisicoquímicas del agua	43
Turbiedad	43
Temperatura	44

Olor	44
Sabor	44
Conductividad Eléctrica (CE)	45
Dureza	45
Dureza total	45
Alcalinidad	46
pH.....	47
Salinidad.....	47
Historia de la desalinización	48
Métodos para la desalinización	52
Desalinización en Colombia	52
Destilación.....	53
Disponibilidad de agua subterránea en Colombia.....	54
Marco legal.....	56
Metodología	58
Diseño metodológico	58
Funcionamiento del prototipo.	63
Toma de muestras de agua subterránea.....	63
Caracterización fisicoquímica.....	65
Resultados y discusión	66

Sistema de desalinización por evaporación.....	66
Análisis de resultados muestras fisicoquímicas	67
Eficiencia.....	72
Conclusiones	75
Recomendaciones.....	77
Referencias.....	78
Anexos.....	82

Siglas

APA – American Psychological Association.

CE – Conductividad Eléctrica.

CITA – Centro de Investigaciones Tecnológicas Ambientales.

CUC – Universidad De La Costa.

DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

ESTUR – Comunidad de Pescadores de Barranquilla.

FODA – Fuerzas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.

IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IRCA – Índice de Riesgo de Calidad de Agua. MET – Materiales, Energía y Toxicidad.

MED – Multiple-Effect Distillation.

MSF – Multi-Stage Flash Distillation.

OI – Osmosis Inversa.

OMS – Organización Mundial de la Salud.

QFD – Quality Function Deployment Method.

RAS – Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

UNT – Unidad Nefelometrica de Turbidez.

UPC – unidad de Platino Cobalto.

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1 Normativa relacionada.....	56
Tabla 2 Parámetros y técnica de análisis.	65
Tabla 3 Resultados de la caracterización del lavadero Lucciana Car Wash. 4 de julio de 2018 ..	68
Tabla 4 Resultados de la caracterización de la Universidad de la costa CUC. 4 de julio de 2018	68
Tabla 5 Resultados de la caracterización del lavadero Lucciana Car Wash. 17 de julio de 2018	69
Tabla 6 Resultados de la caracterización de la Universidad de la costa CUC. 17 de julio de 2018	69
Tabla 7 Eficiencia de remoción.	72
Tabla 8 Características fisicoquímicas Lavadero Luciana Wash. 4 de julio 2018	85
Tabla 9 Características fisicoquímicas Lavadero Luciana Wash. 4 de julio 2018. Método Titulación	86
Tabla 10 Características fisicoquímicas Universidad De La Costa. 4 de julio 2018.	87
Tabla 11 Características fisicoquímicas Universidad De La Costa. 4 de julio 2018 Método Titulación	89
Tabla 12 Características fisicoquímicas Lavadero Luciana Wash. 17 de julio 2018	89
Tabla 13 Características fisicoquímicas Lavadero Luciana Wash. 17 de julio 2018 Método Titulación	91
Tabla 14 Características fisicoquímicas Universidad De La Costa. 17 de julio 2018.	91
Tabla 15 Características fisicoquímicas Universidad De La Costa. 17 de julio 2018 Método Titulación	93

Figuras

Figura 1 Diseño del sistema de tratamiento.	59
Figura 2 Corte circular del vidrio.....	60
Figura 3 Canaletas de silicona.	60
Figura 4 Cabina de vidrio.	61
Figura 5 Tubo de aluminio.....	61
Figura 6 Tapa del recipiente y tubo de aluminio.	61
Figura 7 Abertura de tubos PVC.....	62
Figura 8 Montaje de la cabina.....	62
Figura 9 Montaje final del desalinizador.	63
Figura 10 Ubicación de la toma de muestras.	64
Figura 11 Sistema desalinizador por evaporación.	67
Figura 12 Prototipó Desalinizador.....	82
Figura 13 Recolección de muestra Lavadero Lucciana Car Wash.	82
Figura 14 Recolección de muestra Universidad de la Costa.....	83
Figura 15 Caracterización de la muestra.....	83
Figura 16 Método de titulación de la muestra.	84
Figura 17 Remoción de sales.	84

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Medición de Dureza Total.....	46
Ecuación 2 Medición de Dureza Cálrica.	46
Ecuación 3 Medición de Alcalinidad.....	46
Ecuación 4 Medición de Eficiencia	72

Lista de anexos

Anexo 1. Elaboración del prototipo.....	82
Anexo 2. Evidencia de la Recolección de muestra.....	82
Anexo 3. Evidencia de la Caracterización de la muestra.....	83
Anexo 4. Evidencia de la remoción de sales.	84
Anexo 5. Datos obtenidos en el laboratorio de la caracterización fisicoquímica.	85

Introducción

El 70% del planeta está cubierto de agua, solo un 3.5% es agua dulce. Las aguas subterráneas son la segunda fuente de agua dulce del planeta, representando más del 30% de las mismas, superadas por los glaciares que representan un 70% del agua dulce con la que contamos (Fundación Aquae, 2013). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el agua de las capas de hielo y glaciares no está disponible para su uso. Así las cosas, se precisa que el agua subterránea representa más del 97% del agua dulce disponible del planeta, que por lo general estas son aguas duras (Secretaría Distrital de Ambiente, 2019).

Se le denomina aguas duras, aquellas que contienen una cantidad elevada de sales de magnesio y calcio. La presencia de estos minerales llega al agua debido a las formaciones geológicas atravesadas por el agua antes de ser captadas (Facsá, 2017). Estos mismos minerales traen consigo algunos problemas como la corrosión y/o taponamiento de las tuberías por las cuales se capta el líquido, daños a electrodomésticos, entre otros.

Hoy en día se evidencia una gran problemática en el mundo por la escasez del agua como recurso, debido a la sobrepoblación, cambio climático y contaminación de las fuentes hídricas, por lo que, el uso de aguas subterráneas serían una alternativa para contrarrestarla, pero, tomando en cuenta las desventajas de su uso, esta no sería sostenible del todo, por lo cual, para hacer un uso apropiado de este recurso lo primero que se tendría que hacer sería ablandar el agua.

Siguiendo los principios del ciclo natural del agua, se diseñó un sistema desalinizador por evaporación para el agua dura, el cual pretende ablandar el agua dura, para así disminuir la carga que ejercemos sobre los cuerpos de aguas superficiales y brindar alternativas de tratamiento para este tipo de aguas.

En esta investigación se evaluará la eficacia de un sistema desalinizador por evaporación en el tratamiento de sales que causan la dureza en el agua de la Universidad De La Costa CUC y el lavadero de autos “Luciana Car Wash” dado que estos lugares poseen suministros de agua de pozo para sus actividades, algo que con el tiempo puede ocasionar problemas por las propiedades que presentan estas aguas.

Planteamiento del problema

El Agua, es uno de los recursos naturales más importantes para la vida, no por nada es indispensable para que esta exista. Es usada diariamente en actividades de limpieza, comida, trabajo y para recreación, es por esta razón, que la población mundial se siente asustada por su ausencia. pero ¿qué sucederá el día en que ya no contemos con este gran recurso? El tan temido “día cero”, o lo que es lo mismo, el día en que se dejaría de suministrar agua potable, que para muchos está más cerca de lo que parece, como es el caso de Ciudad del Cabo en Sudáfrica; que se vieron afectados desde finales de 2017 cuando empezó una de las peores sequías registradas en la historia, llegando así a convertirse posiblemente en una de las primeras ciudades en sufrir escasez permanente. Otras ciudades del mundo han estado cerca de ese mismo destino en los últimos años (en particular, São Paulo y Barcelona), este habría sido el primer colapso total de un sistema de agua urbano en la historia moderna (El Espectador, 2019).

Y ¿cómo es esto posible?, si gran parte del planeta está rodeado de agua, ¿Por qué habría de escasear este recurso? Pues hay que considerar que el agua es un recurso finito, ciertamente casi el 75% del planeta está cubierto de agua, lo cual nos da esa falsa percepción de que el agua es infinita, pero, de ese porcentaje el 97.5% es agua salada lo que solo nos deja con un 2.5% de agua dulce la cual a su vez se encuentra repartida por aproximadamente un 70% en los glaciares, un 29.7% en la humedad del suelo y acuíferos menos del 1% en cuencas hidrográficas arroyos y ríos, que lastimosamente por nuestra inconciencia y mal uso de la misma gran parte de esta se encuentra contaminada dejándonos con un 0.0025% de agua potable, para mayores males el 70% de esa agua potable va para irrigación, es decir, es usada para la agricultura, y aproximadamente un 22% es para las industrias y solo un 0.08% es de uso doméstico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), a lo cual hay que resaltar que hoy en día existen comunidades que

no cuentan con este servicio o no pueden hacer uso de los cuerpos de aguas que se encuentran a su alrededor y otras que si lo tienen acceso a este pero no es de la calidad esperada.

Se debe tomar en cuenta la presión que se está ejerciendo sobre el recurso hídrico disponible, ya que el acelerado crecimiento demográfico mundial, provoca un aumento en la demanda del recurso. Otro factor que afecta es la migración masiva del campo a las ciudades, de la cual Colombia no se encuentra exenta, pues esta ha sufrido por grandes migraciones a lo largo de su historia, de acuerdo con proyecciones del DANE, entre 1985 y 2015 alrededor de 2'000.000 de personas migraron de ciudad (El Tiempo, 2015) esto debido a la presencia de grupos armados, búsqueda de mejores oportunidades, entre otras razones.

Adicionalmente, la contaminación producida por las industrias debido a las actividades económicas modernas que requieren de transporte y almacenamiento de materiales usados en la fabricación, proceso y construcción pueden perderse por derrames, fugas o manejo inadecuado. Otras fuentes de contaminación industrial incluyen la limpieza, disposición, almacenamiento de materiales peligrosos, la minería de minerales combustibles y no combustibles pueden crear oportunidades para la contaminación de las aguas subterráneas (Lenntech, 2019).

En el caso de las tierras agrícolas se puede producir una contaminación en las aguas subterráneas debido a los pesticidas, fertilizantes, herbicidas y residuos de animales, ya que el derrame de fertilizantes y pesticidas durante el manejo cerca de los conductos de agua subterráneas, como pozos abiertos, depósitos y depresiones de la superficie donde el agua se suele estancar ocasionando así una contaminación al cuerpo de agua. En las ciudades, los sistemas de aguas residenciales puede ser una fuente de gran cantidad de contaminantes como bacterias, virus, nitratos, materia orgánica y residuos humanos. Cuando se tiran en la basura

doméstica, los productos acabarían en las aguas subterráneas debido a los basureros de municipales están equipados para el manejo de materiales peligrosos. De manera similar, los residuos que se echan o entierran en el suelo pueden contaminar el suelo y penetrar a las aguas subterráneas (Lenntech, 2019)

Según el INFORME NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO INCA 2016 el IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano) fue de 8,6 en la zona urbana lo cual indica que su consumo es de bajo riesgo mientras que en la zona rural fue de 34,7 clasificado como riesgo medio. Del total de departamentos de Colombia, el 37,5% presentaron agua sin riesgo en la zona urbana y un departamento en riesgo alto. Por el contrario, el 15,6% de los departamentos en la zona rural estuvieron sin riesgo y el 31,25% tuvo nivel de riesgo alto (MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL, 2018).

De acuerdo a lo anterior, cabe la observación de que si existen otras fuentes de agua dulce como lo pueden ser las aguas subterráneas, ¿por qué no usarlas?, después de todo su origen es prácticamente el mismo que la que normalmente es objeto de potabilización, además de que su concentración es mayor, tan solo en Colombia estas aguas se distribuyen por el 74% del territorio nacional (IDEAM, 2014) y su extracción en el país se encuentra reglamentada.

En Colombia los acuíferos son usados mayoritariamente por el sector agrícola representando un 75% de su uso, seguido por el sector doméstico (9%) y el industrial (7%) y el (10%) restante repartido en actividades pecuarias y otros. (IDEAM, 2015).

La ciudad de Barranquilla tiene como abastecimiento el río Magdalena, extrayendo un caudal medio de unos 6,5 m³/seg, con un caudal de consumo aproximado de 4 m³/seg. El consumo per

cápita estimado es de unos 227,3 litros/hab. (Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013). Según el secretario privado de la gobernación del atlántico Pedro Lemus, actualmente hay una cobertura urbana del 98.6% mientras que en la zona rural es del 90%, e indica que hay sectores que se abastecen de pozos profundos, pero estos no tienen la continuidad, frecuencia, o calidad de agua deseada, además de existir zonas rurales dispersas como las veredas donde no llega la cobertura del acueducto actual (Lemus, 2017).

En medio de una época en que la intensa sequía afecta a diversas zonas de la Región caribe y el país, los pozos profundos suponen una valiosa alternativa para mitigar los efectos de la carestía del líquido vital. (Barrios, 2016). El único problema aparente que muestra la utilización de estos es su alta concentración de minerales, los cuales hacen el agua menos eficiente, ya que es menos soluble, además de causar daños en tuberías y electrodomésticos. La buena noticia es que existen tratamientos para eliminar o disminuir la presencia de dichos minerales, algunos mejores que otros. Uno de esos tratamientos es la Desalinización por evaporación, el cual no es muy usado para el tratamiento de la dureza del agua. Por lo que se plantea la siguiente pregunta *¿Cuál es la eficiencia de remoción de la dureza del sistema desalinizador por evaporación en las aguas subterráneas de Barranquilla, Atlántico?*

Justificación

El planeta tierra se está quedando cada vez más sin recursos naturales y para nadie es un secreto que la población mundial va en aumento. Se tiene pronosticado que para el año 2050 la población mundial aumentará hasta 9700 millones de personas, lo que provocará el aumento del 55% en la demanda de los recursos hídricos, trayendo consigo una gran presión sobre los sistemas hídricos naturales (WWF, 2016). Por otra parte, debido a los efectos del fenómeno del niño, en algunos países del mundo se ha experimentado con mayor intensidad la carencia de agua potable.

Frente a esta problemática se proponen soluciones como la reutilización y ahorro del agua del agua que estén encaminadas hacia la sostenibilidad, es decir, que integren al medio ambiente, la sociedad y la economía, al proponer una alternativa de uso eficiente y diferente al agua potable, dándole la oportunidad a los recursos hídricos de recuperarse, y así poder brindar oportunidad a ciertas comunidades que no cuentan con la facilidad de acceder a este preciado recurso.

Ahora bien, se conoce que el agua subterránea nace en las montañas, pero en lugar de convertirse en río esta se infiltra en la tierra formando acuíferos; esta agua por ser pura nos brinda alternativas para el consumo humano, uso industrial y el riego, ya que esta representa más del 30% de las reservas de aguas dulces de nuestro planeta. Así las cosas, se precisa que el agua subterránea representa más del 97% del agua dulce disponible en el planeta (El Tiempo, 2000)

Existen diversos métodos para ablandar el agua dura como el uso de la bentonita modificada con dodecibenceno sulfonato de sodio propuesto por Suzylawati Ismail et al, el uso de láminas de nanotubos de carbono oxidado propuesto por los autores Maryam Ahmadzadeh y Tofighy Toraj Mohammadi y el uso de la desalinización; esta última se puede realizar por el uso de

osmosis inversa, Desalinización térmica, Congelación, Evaporación relámpago, la Electrodialisis y Destilación (Aqua Fundación, 2015).

Debido al costo, la accesibilidad y dificultad para llevar a cabo algunos de estos métodos, hace que el ablandamiento de aguas duras no sea tomado en cuenta al momento de pensar en una fuente de abastecimiento de agua potable. Ahora bien, está demostrado por diversos autores que la destilación es un método eficiente al momento de realizar la desalinización de aguas, además de ser un método conocido y de fácil acceso.

En aras de demostrar la eficiencia y la viabilidad del proceso de destilación para realizar el ablandamiento de aguas duras, este proyecto busca evaluar la aplicación de un sistema de desalinización por evaporación por medio de destilación para aguas duras.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la eficiencia de un sistema desalinizador por evaporación en el tratamiento de agua subterránea en la ciudad de Barranquilla, Atlántico en dos escenarios: Institucional y comercial.

Objetivos específicos

Caracterizar fisicoquímicamente las muestras de agua subterránea de la ciudad de Barraquilla, Atlántico en dos escenarios: Institucional y comercial.

Implementar un tratamiento para aguas subterráneas mediante un sistema desalinizador por evaporación en la ciudad de Barranquilla, Atlántico en dos escenarios: Institucional y comercial.

Determinar la eficiencia del desalinizador por evaporación en aguas subterráneas de la ciudad de Barranquilla, Atlántico en dos escenarios: Institucional y comercial.

Estado del arte

El estado del arte es descrito por las normas APA como una investigación documental que tiene como objetivo el recuperar y trascender el conocimiento acumulado sobre un objeto de estudio específico. Durante el proceso de la creación de este proyecto se ha realizado la revisión de artículos científicos a nivel internacional, nacional y local, yendo desde lo más general como lo es la situación y distribución del recurso hídrico, hasta los métodos de ablandamiento de aguas, la desalinización por medio de destilación e impacto ambiental de la misma, además de consultar proyectos similares a este con el fin de conocer la situación con respecto al tratamiento de desalinización de aguas duras, las alternativas y consecuencias que existen para llevarla a cabo.

Durante el transcurso del documento se hará referencia a diferentes tipos de agua: agua dura, agua blanda y agua desalada o desalinizada. Entiéndase como **Agua Dura** aquella que presenta altas concentraciones de sales iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} , causantes de obstrucción y oxidación de las tuberías, marcas y rastros blancos en lavabos, bañeras, grifos y de estropear electrodomésticos, además de modificar el sabor del agua, esta será el objeto del tratamiento propuesto en este trabajo para convertirse en **Agua Blanda**, esta es un agua destilada con bajas o nulas concentraciones de minerales por lo que no es apta para el consumo humano, pero si para la utilización de la misma en otras actividades, como la limpieza por ejemplo.

El método propuesto para ablandar el agua dura es la desalinización la cual da como resultado **Agua Desalinizada o Desalada**, que no es más que aquella agua a la cual se le han retirado las sales que contenía, por lo que en algunos momentos nos referiremos a al agua blanda como agua desalinizada.

Investigaciones internacionales:

En el documento “Recursos Hídricos Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo” realizado por GreenFacts, (2009) se realiza una contextualización sobre la presión causada en los recursos hídricos, donde y en que formas se encuentra el agua en la tierra, cuanta es la cantidad de agua dulce con la que dispone cada país y la manera en la que las actividades humanas afectan los recursos hídricos, además, presenta algunas formas por las que se puede satisfacer la creciente demanda de agua entre las que se menciona el agua desalada y hace mención de cómo se podrían gestionar los recursos hídricos de forma sostenible, llegando a la conclusión de que nuestros recursos hídricos se encuentran sometidos a una gran presión y que es necesario aumentar la información sobre la calidad y cantidad de agua disponible, y cómo esta disponibilidad varía en el tiempo y de un lugar a otro.

Este documento funciona como contextualización para ampliar el paisaje de cómo es el estado del agua, además de presentar información de las principales razones por la cual este recurso se encuentra tan escaso y la presión que estamos ejerciendo sobre el mismo, presentando algunos consejos de que podemos hacer para disminuir la presión ejercida sobre este recurso. El uso del agua dura puede ser una alternativa para disminuir la presión ejercida sobre los cuerpos de agua superficiales, pero antes de eso esta debe pasar por un proceso para ser ablandada debido a los problemas que el uso de esta puede causar, para esto existen diversos métodos.

En el Trabajo de investigación titulado “Formulation study for softening of hard water using surfactant modified bentonite adsorbent coating”, Nur Nadia Ab Kadir et al. (2017) se desea demostrar el potencial que tiene la bentonita modificada con dodecibenceno sulfonato de sodio, usándola como un recubrimiento absorbente para eliminar iones Ca^{2+} y Mg^{2+} del agua dura,

presentándolo como un método de fácil uso en comparación con las técnicas ofreciéndola como un potencial reemplazo de las mismas, por ser una alternativa que reduce el uso de productos químicos en estos procesos. Este adsorbente se caracterizó mediante análisis SEM-EDX, Zeta-meter y FTIR. Demostró tener una buena capacidad de eliminación de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , además de su utilidad para tratar aguas residuales industriales que contengan iones metálicos, así como también para ablandar el agua dura.

Por otra parte, el artículo titulado “Permanent hard water softening using carbon nanotube sheets”, Maryam Ahmadzadeh & Tofighy Toraj Mohammadi (2011), presenta un método de ablandamiento permanente de aguas duras mediante el uso de láminas de nanotubos de carbono oxidado, las cuales, fueron sintetizadas mediante una deposición química de vapor de ciclohexanol y ferroceno en una atmósfera de nitrógeno a 750°C y oxidado con ácido nítrico concentrado a temperatura ambiente. Hicieron uso de modelos cinéticos e isothermas para ajustar los datos experimentales con lo cual, descubrieron que el comportamiento de adsorción de los iones minerales duros por las láminas nanotubos de carbono oxidadas coincide con la isoterma de Freundlich y el modelo cinético de pseudo-segundo-orden. Lograron demostrar que, dichas láminas, si pueden ser usadas para el ablandamiento de aguas duras debido a que estas cuentan con una alta capacidad de adsorción para los iones Mg^{2+} y Ca^{2+} , además de ser un proyecto económicamente viable y sin fugas del producto usado.

Mediante estos trabajos se presentan métodos para el ablandamiento de aguas duras, funcionales pues estos consiguieron su mayor eficiencia de eliminación de metales (Ca^{2+} y Mg^{2+}) de 29.27 mg g^{-1} a partir de una dureza de 120 mg L^{-1} y una capacidad de adsorción final de Ca^{2+} y Mg^{2+} alcanzan 5.4679 y 7.1521 mg / g para $C_0 = 100 \text{ ppm}$, 17.3253 y 21.5626 mg / g para $C_0 = 300 \text{ ppm}$, 34.1258 y 42.2658 mg / g para $C_0 = 600 \text{ ppm}$, 60 y

81.2564 mg / g para $C_0 = 900$ ppm y 77.4598 y 101.4590 mg / g para $C_0 = 1200$ ppm., respectivamente y son aparentemente económicos, pero, estos se encuentran pensados para el uso industrial y para ser llevados a cabo por profesionales que cuenten con el conocimiento para realizarlos, por lo que no podrían ejecutarse en zonas rurales o pueblos, lugares que no cuentan los recursos necesarios para este tipo de proyectos y mucho menos con los profesionales adecuados, ya que la mayoría suele migrar a las grandes ciudades en busca de mejores oportunidades, y son estos lugares precisamente los que mayormente se ven afectados por la falta de agua, por lo que es necesario buscar una mejor alternativa para este tipo de zonas, cuyo uso sea realmente fácil y asequible para estos.

La Desalinización es un método por medio del cual se busca eliminar o disminuir la salinidad en el agua. En el Artículo de Investigación titulado “Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica”, de Jorge Lechuga A. et al. (2007) se realiza un análisis comparativo de varios procesos para desalinización de agua identificando a aquellos que recuperan energía. Para esto, utilizaron la metodología de Inteligencia Competitiva y Tecnológica, basándose en búsquedas de información en bibliotecas digitales y catálogos de bibliotecas. Luego procedieron a organizar la información y los formatos de acopio, seleccionando la información relevante con criterios basándose en la actualización y numero de temas disponibles en los bancos de datos y en la aplicación de las matrices FODA (fuerzas, oportunidades, debilidades y amenazas) y MET (Materiales, Energía y Toxicidad).

Le realizaron un análisis a los procesos y su variable y se compararon con base sus costos, el consumo energético y el impacto ambiental que estos ocasionan. Entre los procesos analizados se encuentran la ósmosis inversa, electrodiálisis, destilación multi-efecto (MED), evaporación multi-etapas flash (MSF) y destilación por energía solar.

El artículo presenta una comparación entre varios procesos existentes para desalinización de agua, mostrando los factores más importantes a tomar en cuenta al momento de querer seleccionar uno de estos métodos para la realización de la desalinización, los cuales son el consumo energético, costo de operación e impacto ambiental que estos generan. También se resalta el gran peso que están tomando estas tecnologías conforme pasa el tiempo, debido al mal uso de los recursos naturales y el inminente crecimiento poblacional por el que estamos pasando, el autor considera que debido a la escasez de agua potable es urgente el desarrollo de dichas tecnologías.

Otro autor que habla sobre este tema es Borja Montaña Sanz, (2011) con su tesis doctoral denominada “Análisis económico de la desalinización”, en la cual se realiza un análisis completo del papel que tiene el agua desalinizada en un modelo de gestión de los recursos hídricos y del proceso de internacionalización de las empresas españolas de construcción y explotación de desalinizadoras. Para eso primero se contextualiza sobre los aspectos básicos de la desalinización, En qué consiste, su historia y la situación actual de esta práctica en diferentes países, analizando los métodos de desalinización que en estos se utiliza y los costes de los mismos, llegando a la conclusión de que existe un modo más eficiente en costes de desalinizar agua. Empleando sistemas térmicos vinculados para ahorrar en energía, que es uno de los factores que más afecta el costo de estos tratamientos. Tomando en cuenta que la eficiencia energética de estos sistemas es baja en comparación con la energía que necesita, no se puede decir que este sea el método más eficiente, sino el más rentable en torno a su abastecimiento energético.

Este artículo sirve para realizar una contextualización sobre cómo se encuentra el mercado mundial con respecto al uso y la aceptación de la desalinización como método para la gestión de

los recursos hídricos. El autor afirma que esta es una tecnología que se encuentra en auge cuyo uso no para de aumentar, tomando en cuenta la evolución que esta ha tenido en los últimos años como método de obtención de recursos hídricos, pero uno de sus más grandes problemas es el uso de la energía que se necesita para llevarlo a cabo.

En el artículo titulado “La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables” Carlos De la Cruz, (2006) trata de mostrar que la desalación de agua de mar con energías renovables como la Energía eólica, Energía solar térmica y Energía solar fotovoltaica, es técnicamente viable, con base en lo que se ha realizado por medio de proyectos de investigación que lo demuestran, combinando distintas tecnologías: eólica-ósmosis inversa, fotovoltaica-ósmosis inversa y solar térmica-destilación.

Inicia realizando un análisis del consumo de agua en su país, al igual que los precios del agua en el mismo y como deben darle un uso sostenible a este recurso debido a que la demanda de este con el pasar de los años va creciendo, indicando el aporte que ha tenido la desalinización en el abastecimiento de agua. Hace mención de los Procesos industriales de desalación de agua de mar por destilación y de los Procesos industriales de desalación de agua de mar con membrana del cual la Ósmosis inversa (OI) hace parte. Igualmente menciona la calidad que tiene el agua desalada junto con los aspectos medioambientales que acarrea el uso de esta técnica.

El artículo hace referencia a la utilización de energías renovables para abaratar costos en los procesos de desalinización, dado que este es uno de los factores que más influye al momento de querer llevar a cabo un proyecto de desalación de aguas, también recalca la importancia de aprovechar el consumo de aguas saladas para el abastecimiento de este recurso, cuando su

fuentes principales no estén en condiciones para ser usadas debido a los bajos niveles que estas presentan en los periodos de sequias.

Con respecto a ese tema el artículo titulado “Desalinización del agua”, Felipe I. Arreguín Cortés & Alejandra Martín Domínguez (2000), el cual comienza con la contextualización de cómo es la situación de México con respecto al desabastecimiento de agua en diversas regiones, propone la desalinización de aguas salobres y aguas marítimas como una posible solución hacia este problema, dado que este ha sido un método que se utiliza en varios países, para la producción de agua para cultivos en invernaderos, diversos procesos industriales, he incluso para consumo humano, presentando los diversos métodos que existen de desalinización tales como, los procesos de destilación y de membranas, la compresión de vapor, la electrodialisis y la ósmosis inversa los cuales son más utilizados y se encuentran en etapa comercial, además de realizar un análisis de los factores que afectan sus costos. También recalca los principales impactos al medio ambiente que causan la implementación de las plantas desalinizadoras, la cuales se presentan mayoritariamente al momento de su construcción; otros más son a causa del incremento en el uso de energía que es también uno de los factores que más influyen en el costo, emisiones de gases, humo, polvo y ruido, descargas de salmuera, al momento de la extracción del agua afectando playas y a la ecología marina, la erosión y la interferencia de actividades recreativas o productivas, además del crecimiento poblacional que puede presentarse en torno a ella. Proponen aprovechar la energía solar directa para la desalinización de a aguas como una buena opción para las comunidades rurales o con baja población.

De este artículo es resaltable nuevamente la recomendación del aprovechamiento de la energía solar directa para realizar la desalinización del agua, siendo la energía el factor que más influye en el costo del agua desalinizada, y está, siendo eficaz, y prácticamente constante además de

gratuita, la hacen una opción viable para comunidades rurales o con baja población, que no necesitan grandes volúmenes de agua para su diario vivir en comparación a grandes industrias o ciudades.

El documento titulado “Impacto Ambiental de Desalinización de Agua de Mar” realizado por el Biólogo Enrique Vivanco Font (2017) da una información general sobre la definición y características de los procesos de desalinización para agua de mar, las tecnologías más utilizadas y los impactos ambientales que estas prácticas pueden generar en las zonas costeras, tales como el Impacto físico-químico de la descarga de salmuera en el medio marino, de cómo este afecta su salinidad y su temperatura, los contaminantes por parte de los químicos usados en el pretratamiento y el post tratamiento del agua, todo esto obtenido mediante una exhaustiva investigación usando documentos e información relevante sobre la materia.

Abarca de igual manera los impactos que estas prácticas tiene sobre los organismos marinos como lo es la variación y distribución de la flora marina que se ha visto afectada por la descarga directa de salmuera proveniente de plantas desalinizadoras o el estrés causado en poliquetos, serpulidos, sabélidos y crustáceo halano, tal como también que tienen las tomas de agua para abastecer estas plantas desalinizadoras, aspecto que se expande de mejor manera en el documento titulado “El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas” de Esperança Gacia y Enric Ballesteros (2001), donde se investiga el efecto de cada uno de los componentes de las salmueras sobre las comunidades bentónicas mediterráneas, para poder valorar el impacto global de las operaciones de desalinización.

En esta encontraron que la distribución varios organismos marinos está estrechamente relacionada con la salinidad y temperatura del lugar, por tanto, cuando existen variaciones de estos, muchas especies pueden sobrevivir o puede haber sustitución unas especies por otras. Otro efecto sobre el aumento de la salinidad es el cambio en el metabolismo de algunas especies sobre el nitrógeno y el carbono, así como una disminución del proceso de fotosíntesis, todo eso sumado al aumento de temperatura hacen que se presente una disminución en la concentración del oxígeno. Con respecto a los peces no se obtuvieron resultados concluyentes debido a la procedencia de los peces analizados. A todo esto, los autores recomiendan que se realice una mejor ubicación de los vertimientos de las plantas desalinizadoras en lugares con un hidrodinamismo medio o elevado que facilite la dispersión de la sal, he intentar que el agua recolectada sea de la mejor calidad posible para minimizar así la cantidad de químicos usados para su tratamiento.

Estos documentos hace referencia a los principales impactos ambientales que el uso de los sistemas de desalinización puede traer consigo hacia biota acuática, al no disponer correctamente la salmuera, la cual es vertida a los cuerpos de agua con una gran carga de sales entre otros productos químicos usados para el pre y post tratamiento del agua, que provocan el incremento de la salinidad, temperatura y el pH, causando así un decrecimiento del oxígeno disponible para dichos seres además de causarles algunas lesiones, todo esto llevándonos a pensar en maneras de prevenir la producción de salmuera al hacer uso de estas tecnologías.

Investigaciones nacionales:

En el marco nacional un referente muy importante en lo relacionado con el agua y su disponibilidad es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM con

su documento “OFERTA Y USO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN COLOMBIA” de César O. Rodríguez et al (2010) incluye la caracterización y cuantificación de la oferta y uso del recurso hídrico subterráneo del país, a partir del análisis e interpretación de información hidrogeológica disponible. Para la realización de la evaluación cuantitativa de las aguas subterráneas aplicaron un modelo determinístico simple y de fácil reproducción para investigaciones futuras.

Encontraron que las reservas de agua subterránea existentes en Colombia son del orden de 5.848 km³ lo cual equivale al 72% del total de oferta superficial y subterránea. Indican que las diferentes reservas calculadas de aguas subterráneas almacenadas en el subsuelo pueden ser aprovechadas, aunque esta decisión recae, por lo general, en una decisión política, la cual nace de la importancia y de la orientación general que el estado asigne a los sectores de agua potable, riego, uso industrial, recreativo, etc.

El estudio sirve para realizar una contextualización de cómo se encuentra Colombia con respecto a sus reservas de aguas subterráneas y los usos que se le está dando a las mismas. Se recalca que en Barranquilla de esta agua se ve utilizada en su mayoría en el sector industrial (2.530.151 m³/año), seguido por los servicios (972.749 m³/año) por último el uso doméstico (14.400 m³/año) las actividades agrícolas y pecuarias no usan este tipo de agua.

Con respecto a proyectos relacionados al uso de desalinizadoras para el tratamiento de aguas duras, no se encontraron referentes, pero si se ha visto el uso de estas tecnologías para la desalinización de agua de mar como es el caso del Trabajo de Grado titulado “simulación de una planta desalinizadora de agua de mar, por medio del software ims desing como estrategia para fortalecer el desarrollo social del norte caribe colombiano- municipio de uribía – la guajira” de Lizeth Lorena Cortes Posada y Leidy Liliana Lesmes Ayala (2018) tiene por objetivo el de

simular una planta desalinizadora por medio del software Hydranautics IMS desing con condiciones fisicoquímicas optimas, utilizando como técnica la Ósmosis Inversa para el tratamiento del agua de mar del Municipio De Uribí – La Guajira, esto con el fin de atender a la demanda de agua, al abastecimiento de la misma y desarrollo sostenible del municipio.

Para lograrlo realizaron una serie de investigaciones las cuales se desarrollaron por medio de una revisión bibliográfica general del municipio para encontrar las condiciones ambientales y físicas necesarias para llevar a cabo la simulación del proceso, seguidamente, determinaron las variables físicas del punto de alimentación y de descarga para evitar los posibles impactos al medio, realizando también una comparación de los parámetros fisicoquímicos del agua de permeado con la normatividad colombiana (Resolución 2115 de 2010), estableciendo diferentes escenarios en cuanto al proceso de Ósmosis Inversa frente a condiciones críticas ambientales del municipio y parámetros referentes al proceso, realizaron un estudio de impacto ambiental y buscaron alternativas para el manejo de la salmuera mientras identificaban los posibles impactos generados de la descarga directa de la misma al medio marino, también realizaron una comparación de costos con otros países en cuanto al precio del m³/d del agua desalinizada.

Otro proyecto relacionado es el proyecto titulado “Diseño de una planta desalinizadora de agua de mar para la isla de San Andrés” de Edwin Ferney Bonilla Torres y Ronald Stewart Venera Martínez (2017), en el cual buscan diseñar una planta desalinizadora de agua de mar para San Andrés Isla, lugar que tiene un problema social por los escasos de agua potable declarado como calamidad pública. Para la realización del proyecto, realizaron un estudio del estado actual de los procesos de desalinización tanto local como globalmente y diseñaron su planta bajo las características del tratamiento por ósmosis inversa con un caudal de producción mínima de 40

l/s, caudal con el cual piensan cubrir el déficit de agua de la empresa de acueducto de la Isla San Andrés.

Dicho diseño, está planteado para su implementación desde un tanque de almacenamiento de agua bruta hasta el tanque de permeado. Diseñaron un preparamiento granular el cual acondiciona el agua para el sistema, un sistema de dosificación de antiincrustante para evitar problemas por la precipitación de sales y para el transporte del agua por la planta diseñaron varios sistemas de Bombeo. Entre diseños y simulaciones se establecieron tres diseños los cuales suplen las necesidades de dicha industria a nivel local, de los cuales escogieron el que mejor cumplía con los criterios de diseño utilizando el paso de modo matricial del método QFD, para llevar a cabo su posterior ingeniería básica, de igual manera realizaron las pruebas y validaciones por medio de los programas correspondientes para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Los proyectos anteriores muestran lo útil que es la desalinización en comunidades donde el agua potable es poco accesible, para estos utilizan la desalinización por osmosis inversa, pero este no es el único método factible para llevar a cabo este tratamiento. El proyecto de tesis “Análisis del comportamiento de un prototipo de destilador solar en la ciudad de Cartagena” de Jhorsy Jorsy Pérez Vanegas y Anabelasalazar Romero (2015) contempla como su principal objetivo el de analizar la eficiencia de un prototipo de destilador solar para la desalinización de aguas marinas extraídas de las playas de Bocagrande, Cartagena, todo esto bajo las condiciones ambientales que se presentan en esa ciudad es decir las radiaciones solares, con el fin de proponer una solución económica, de fácil operación y amigable con el medio ambiente es decir que este sea sostenible.

Primeramente, realizaron un monitoreo de cinco semanas al prototipo en las cuales se realizaron pruebas, ensayos y mediciones de la cantidad de agua producida en un tiempo determinado, la radiación solar, la temperatura necesaria para que ocurra el proceso de evaporación y las características fisicoquímicas del agua destilada, Obteniendo como resultados una disminución de la salinidad, del pH, de la turbiedad y de la conductividad además de un aumento en el color aparente. Encontraron también de que la producción promedio de agua fue de 214,89 ml/día y que la temperatura media y las radiaciones solares máximas y mínimas necesarias para que se dé la evaporación era de 34 °C, 700 W/m² y 684,29 W/m² respectivamente. Con base a lo anterior concluyeron que este tipo de sistema es eficiente y si es factible para ser implementada, además de ser fácil operación y mantenimiento, el método se ajusta a las condiciones económicas de los habitantes de la isla.

Estos proyectos dan a conocer la importancia de llevar a cabo estos proyectos en pro a la distribución de agua potable a los diversos municipios de Colombia, dado que no en todos se tiene acceso a este recurso y pueden significar una posible solución a la escasez del mismo y brindar sustentabilidad a una población vulnerable, además de no ser las únicas afectadas ya que aunque los recursos hídricos han demostrado tener una gran capacidad de recuperación son cada vez más vulnerables y están más amenazados por lo tanto es importan buscar maneras para preservarlos y que su ves no se vea interrumpidas las actividades cotidianas. El uso de estas tecnologías puede servir como alivio para las fuentes convencionales de aguas potables y a su vez como una opción alterna para conseguir este recurso en los lugares donde normalmente no es muy asequible, además de ser viables ya que garantizan un funcionamiento eficaz en la desalinización de agua haciendo uso de los recursos naturales de la región, comprobando que estos procesos se pueden llevar a cabo sin necesidad de contar con grandes tecnologías.

Investigaciones locales:

En el artículo “*TECNOLOGÍAS BASADAS EN RECURSOS NATURALES PARA EL DESARROLLO DE COMUNIDADES DESCENTRALIZADAS DE LA COSTA CARIBE*” de José Palacin Salcedo y Jhon Eduard Montenegro Fresneda, (2018) se reporta información sobre la implementación de un sistema de desalinización por destilación simple en una comunidad costera ubicada en el Tajamar Oriental de Bocas de Ceniza. Para la construcción de dicho sistema primero se realizó una revisión bibliográfica para asegurarse de que el sistema supliera y se adaptará a las necesidades y condiciones ambientales de la comunidad de pescadores, ESTUR, como ellos la denominaron. El sistema consistió en un desalinizador de agua de mar por destilación simple accionado por resistencias eléctricas alimentadas por un generador eólico. para la ubicación del sistema de captación agua, se construyó un pozo de 2 m del cual se condujo el agua a través de tuberías PVC impulsada por una bomba sumergible marca TRUPER de 500 Watts (W) hasta un tanque de evaporación que cuenta con tres resistencias de 1500 W para formar el vapor que luego es conducido a un serpentín sumergido en un contenedor plástico de a temperatura ambiental, donde se condensa y se obtiene el agua desalinizada.

Se encontró que el sistema tal como esta es capaz de producir 2 L/H de agua desalinizada y que puede producir más si este es mejorado, además de que este ha producido la energía necesaria para activar el sistema.

El articulo nos deja en claro que existen diversas tecnologías desarrolladas actualmente para desalinizar el agua y aunque tienen características distintas de acuerdo al tipo de energía, diseño y producción que requiere cada una, todas con un mismo objetivo, reducir la concentración de sales disueltas del agua.

En ese sentido, el uso de sistemas desalinizadores resulta ser una alternativa para obtener agua potable en las partes donde es escasa y que de cierta manera el recurso hídrico no es aprovechable para su captación y uso. Pero el hecho que esta se encuentra disponible no implica que esta pueda ser usada en su totalidad, debido a la contaminación natural y antropogénica es necesario tratarla antes de ser destinada para consumo humano, agrícola o industrial. Además, la calidad del agua puede variar acorde al lugar y el tipo de subsuelo de los contaminantes. Sin embargo, estas pueden ser utilizadas para riego agrícola, turismo y consumo humano.

Marco teórico.

Generalidades del agua

El agua es un elemento químico el cual está compuesto por átomos de oxígeno e hidrógeno y se representa por la formula H_2O . Es considerada un recurso renovable debido al ciclo del agua, pero esto no significa que sea un recurso ilimitado si no se le da un buen uso, tratamiento, liberación y circulación, de lo contrario se consideraría un recurso no renovable como lo es en el caso de ciertas aguas subterráneas ya que estas pueden ser extraídas de la capa acuífera a una velocidad mayor que la de su recarga (Foster & Loucks, 2006).

Aproximadamente el 70 % de la superficie está cubierta de agua, y el 2,53% del total es agua dulce siendo el resto agua salada que se encuentra acumulada en los mares y los océanos (UNESCO, 2003). Esta agua dulce se presenta en diversas formas: 79% en forma de hielos polares y 20% en forma de agua subterránea difícilmente accesible. Sólo el 1% se encuentra fácilmente disponible en ríos, lagos y aguas subterráneas (PÉREZ & SALAZAR, 2015).

Debido al gran impacto de la energía solar, el agua de los lagos y los océanos se evapora a la atmósfera, cuando la temperatura baja este vapor de agua se condensa y forma nubes, si la temperatura empieza a disminuir el agua que se encuentra contenida en las nubes cae sobre la tierra en forma de lluvia. Esta precipitación es recogida por las plantas y el suelo. El agua de los lagos, ríos y acuíferos se origina a partir de la lluvia (UNESCO, 2003). Tanto el agua subterránea como la de la superficie se reincorporan finalmente a los mares y océanos, cerrando el ciclo del agua para comenzar uno nuevo (PÉREZ & SALAZAR, 2015).

La disponibilidad de agua es fundamental en las zonas áridas debido a que presentan una baja productividad, donde el agua puede ser la principal limitante para la producción biológica. El acceso y la disponibilidad del agua condicionan también la vida doméstica y ciertos productos agrícolas. Los cuerpos de agua superficiales llegan a desaparecer rápidamente debido a la alta tasa de evaporación que presentan estas zonas (PÉREZ & SALAZAR, 2015). Por esa razón de han venido desarrollando varios medios para acceder a las fuentes subterráneas (acuíferos) como lo es el método de bombeo, captaciones. (Secretaria Distrital de ambiente, 2019).

Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son una fuente importante de suministro para la población aproximadamente el 53% recibe agua de fuentes subterráneas. Además de ser una de las principales fuentes de uso doméstico, industrial y agrícola.

Son aquellas que cae de las precipitaciones en forma de lluvia o nieve que se filtran a través de poros y grietas de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra. Esta agua se almacena en las formaciones geológicas (acuíferos) que cuentan con poros o vacíos (Secretaria Distrital de ambiente, 2019). Pueden mantenerse ocultas durante millones de años y según su profundidad será más sencillo localizarlas y acceder a ellas (Aquaefundación, 2015) En algunas áreas costeras se ha extraído tanta agua dulce de acuíferos que se ha provocado una intrusión de agua salada, provocando que las aguas de pozo sean salobres y no pueda ser usada.

Para los estudios del agua subterránea en Colombia se ha dividido en 6 grandes provincias hidrográficas: Andina-vertiente Atlántica, Costera-vertiente Atlántica, Costera-vertiente Pacífica, Amazonas, Orinoco y Escudo Septentrional. Las áreas con mayor explotación de aguas subterráneas corresponden a la Media Guajira, Cundinamarca y Valle del Cauca, seguido por

Cesar, Norte de Santander, Tolima, Córdoba, Magdalena, Sucre, Atlántico y Boyacá
(INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES,
(IDEAM), 2001)

Propiedades fisicoquímicas del agua

Turbiedad

La turbiedad es el efecto óptico causado por la dispersión y absorción de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión. Puede ser causada por el cieno o fango extraído del suelo, por escorrentías superficiales que contienen materia suspendida orgánica y mineral.

Se determina a través de un turbidímetro, el cual está formado por una fuente de luz; un sistema de lectura de la luz que pasa a través del agua contenida en un recipiente blanco transparente o de la luz que dispersan las partículas y una escala de medida. Se expresa en unidades nefelométricas o en unidades de turbiedad. (SENA y Ministerio de Desarrollo Económico, 1999)

La legislación vigente por medio de la resolución 2115 del Ministerio de Protección Social, establece el siguiente valor de la turbiedad para el agua que se suministra a la comunidad:

Valor aceptable: 2 UTN

Temperatura

La temperatura es importante ya que afecta la velocidad, las reacciones químicas y la solubilidad de los gases, amplía sabores y olores, y determina el desarrollo de los organismos presentes. Se determina con un termómetro y se expresa en grados centígrados °C.

Olor

Las impurezas orgánicas disueltas producen olores y sabores indeseables, que son difíciles de evaluar por su naturaleza sugestiva. Los olores en el agua son debidos a pequeñísimas concentraciones de compuestos volátiles. La intensidad y lo ofensivo de los olores varían con el tipo; algunos son de tierra y moho, mientras que otros son putrefactos, producidos por la polución con desechos industriales, tales como FENOI y los derivados del petróleo. En las aguas superficiales el olor es causado por el plancton, estos organismos desprenden pequeños vestigios de aceites esenciales volátiles.

Sabor

Las sales metálicas como la del cobre, el zinc o el hierro causan sabores metálicos. El sabor está relacionado con el olor y es causado por las mismas condiciones. La materia mineral disuelta causa sabor en el agua. Los cloruros y sulfatos mayores a 250 mg/L (miligramos por litro), hacen que el agua tenga sabor salado.

El sabor es una medida de aceptación del agua por el consumidor. Un sabor metálico o salino puede indicar polución en abastecimiento de agua.

Conductividad Eléctrica (CE)

Es un parámetro operativo importante para evaluar la eficacia de la remineralización del agua desalinizada. Los valores normales (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) para el agua desalinizada son muy bajos, mientras que el agua tratada de manera satisfactoria debe tener unos valores más altos.

Dureza

La dureza del agua se debe a la presencia del calcio y magnesio principalmente y se manifiesta en el agua porque reacciona con el jabón sin disolver ni producir espuma.

La dureza puede ser temporal, cuando hay presencia de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio o hidróxidos y permanente cuando encontramos principalmente sales de calcio, manganeso, manganeso y hierro.

Dureza total

Es definida como la concentración de todos los cationes divalentes metálicos no alcalinos presentes en forma de carbonatos o bicarbonatos en una solución. A la dureza total se le atribuye la formación de incrustaciones en recipientes, equipos y tuberías domésticas e industriales, así como la precipitación de jabones y detergentes en contacto con el agua, alterando con ello la formación de espuma. La dureza, debe estar entre 100 mg/l y 200 mg/l para evitar la corrosión y la incrustación, respectivamente.

El método para la determinación de la dureza total se basa en la formación de complejos estables al reaccionar la sal disódica del ácido etilen-diamino-tetraacético (EDTA) principalmente con los cationes divalentes de Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Ecuación 1. Medición de Dureza Total.

$$\text{Mg/l CaCO}_3 = \frac{\text{ml EDTAx } 0,01 \text{ Nx } 100000}{\text{ml muestra}}$$

Ecuación 2. Medición de Dureza Cálctica.

$$\text{Mg/l CaCO}_3 = \frac{\text{ml EDTAx } 0,01 \text{ Nx } 100000}{\text{ml muestra}}$$

Alcalinidad

Es la capacidad que tiene el agua para reaccionar con un ácido. Se debe frecuentemente a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. La alcalinidad puede ser determinada empleando dos indicadores: fenolftaleína y anaranjado de metilo. Ambas formas se determinan por titulación con un ácido fuerte (sulfúrico o clorhídrico).

Dado que la alcalinidad de las aguas superficiales y subterráneas se debe por el contenido principalmente de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas, los cuales a su vez se hidrolizan en el agua generando como producto de la hidrólisis del ión hidroxilo (OH⁻). Sin embargo, pueden estar presentes algunas otras sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos que en menor proporción pueden contribuir.

Ecuación 3. Medición de Alcalinidad.

$$\text{Mg/l CaCO}_3 = \frac{\text{ml HClx } 0,02 \text{ Nx } 50000}{\text{ml muestra}}$$

pH

El pH indica el grado de acidez o basicidad de una solución y sus valores están comprendidos en una escala del 0 al 14, siendo 7 el valor medio. Este valor corresponde a una solución neutra, es decir, donde la concentración de iones hidronio (H_3O^+) e hidroxilo (OH^-) es la misma. Valores por debajo de 7 indican soluciones ácidas y valores por encima indican soluciones básicas o alcalinas.

El pH es un parámetro importante para comprobar la eficacia del tratamiento del agua y del potencial corrosivo de las tuberías del sistema de distribución de esta. Según la legislación vigente por medio de la resolución 2115 del Ministerio de Protección Social, establece el siguiente valor de pH para el agua:

Valor admisible: $6.5 > pH < 9.0$

Salinidad

Es el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua y que se encuentra en altitudes medias. Dicho de otra manera, es válida la expresión salinidad para referirse al contenido salino en suelos o en agua.

El sabor salado del agua se debe a que contiene cloruro de sodio ($NaCl$). Su concentración en los mares y océanos es muy elevada entre 33 y 37 g/L y muy baja en las aguas dulces, menor de 5 g/L.¹ Además esta salinidad varía según la intensidad de la evaporación o el aporte de agua dulce de los ríos aumente en relación a la cantidad de agua. La acción y efecto de disminuir o aumentar la salinidad se denomina desalinización y salinización, respectivamente.

Historia de la desalinización

La desalinización es un proceso fisicoquímico en donde se eliminan las sales del agua de mar o aguas salobres para así hacerlas potables para el consumo humano o para otros fines. La práctica de la desalinización se ha llevado a cabo desde la época de la prehistoria donde se determinó los principios de la separación de las sales en el agua de mar, centrándose en la evaporación del agua de los océanos por acción de la energía que irradia el sol, formando nubes que posteriormente causarían lluvia o precipitaciones, las cuáles contenían agua sin sales ni impurezas. Posteriormente, el ser humano intentó reemplazar la energía solar con fuego, surgiendo de este modo, el primer método de desalinización térmica (CADENA, 2018).

En la antigua Grecia se empezaron a llevar a cabo estudios para entender y desarrollar bases solididad del proceso de la desalinización. Entre el siglo IV a.C. y el siglo VII a.C., Tales de Mileto y Demócrito sugirieron que el agua dulce se obtenía por filtración del agua de mar a través de la tierra. Mas adelante en el siglo IV a.C., Aristóteles discutió más a fondo en sus obras acerca de las naturalezas y las propiedades del agua de mar y la posibilidad de llevar a cabo una desalación simple (CADENA, 2018).

En el siglo I d.C., Plinio expreso en su gran enciclopedia, los primeros ensayos donde describe varios métodos específicos para la desalación del agua. En el siglo II-III d.C., Alejandro de Afrodisias describe por primera vez el procedimiento de destilación como método de obtención de agua dulce a partir de agua de mar (Aquaefundación, 2017).

Pasando a la edad media, varios científicos se dedicaron a tratar, describir y desarrollar el proceso de la desalinización. Uno de los científicos destacados en esa época fue John Gaddesden,

que en su obra “Rosa Medicine” describe cuatro métodos para la desalación del agua de mar y sus ventajas (CADENA, 2018).

En la Edad Moderna, los estudios entorno al proceso de la desalinización se volvieron más extensos, concretos y habituales. Debido a que era necesario realizar viajes marítimos extensos a causa del comercio de la época algunos barcos llevaban instalados destiladores para potabilizar agua marina y así poder abastecer de agua potable a las tripulaciones de las embarcaciones. (Aqua Fundación, 2017). En el siglo XVI, Andrés Laguna, médico personal del rey de España, redactó varios documentos en los que profundizaba sobre los métodos de desalinización (CADENA, 2018).

En el año 1589, el investigador italiano Giovanni Battista Della Porta, desarrolló varios experimentos acerca de la desalinización, y en su obra “Magia Naturalis”, escribió un tomo completo sobre la obtención de agua dulce partiendo de agua de mar. Cabe resaltar que la primera patente acerca de la desalinización data del año 1675. Luego, en el año 1717, el médico francés Gauthier, considerado el padre de la desalación, presentó ante la academia de las ciencias una máquina para llevar a cabo el proceso (CADENA, 2018). Por último, en el siglo XVIII, la desalinización se vio favorecida, ya que se adelantaron estudios acerca de las tecnologías térmicas.

Los métodos de desalinización cuyas bases se centran en energía térmica, cómo la destilación, congelación o evaporación solar, ya se conocían en los inicios del siglo XIX. En la segunda mitad del siglo XIX se presentaron avances importantes.

Para el año 1872 el científico sueco Carlos Wilson elaboró en Chile la primera edificación de desalinización de naturaleza estable, la cual era una planta de destilación solar ubicada en una

explotación minera en las salinas de Chile, aunque no tenía un rendimiento muy alto, se convertía en la primera alternativa para abastecer de agua potable a la comunidad minera de esa zona. en 1984, James Weir desarrolló una desalinizadora que consumía la energía residual de la caldera de las embarcaciones, pero empezaba a aparecer otro problema, los efectos del agua salada (corrosión, incrustaciones, etc.) sobre algunos materiales de construcción de los equipos (CADENA, 2018).

En 1912, se construyó en Egipto la primera planta de desalación documentada, con un caudal de 75 m³ /día. Media década después se instaló una planta en Stears, Kentucky (Estados Unidos) que producía 150 m³ /día de agua consumible según el análisis de Montaña (CADENA, 2018).

Ya que se tenía conocimiento de las técnicas de la desalinización térmica, se empezaron a estudiar nuevas alternativas como la tecnología de membrana. En los años 30 se empezaron a estudiar propiedades de membranas para utilizarlas en la desalación. En 1936 John Ferry, mediante una recopilación de investigaciones sobre el tema, realiza una clasificación de acuerdo a los materiales utilizados. Sin embargo, fue hasta 1949 que se empezaron a emplearse membranas en la desalinización, gracias a estudios acerca de las resinas elaboradas por Juda y Kressman (CADENA, 2018).

Después de la II Guerra Mundial empezaron a instalarse las primeras plantas desaladoras ya que las tropas militares necesitaban ser abastecidas de agua potable en zonas donde la escasez predominaba. (Aquaefundación, 2017). Luego del conflicto se inició la instalación de las primeras plantas desalinizadoras en países cercanos al mar, pero con escasez de agua dulce como Kuwait y Arabia Saudí (CADENA, 2018).

En la década de los 50, las instalaciones industriales de desalación eran de naturaleza térmica, y se destacaba la destilación súbita multi-etapa (MSF), dejando obsoletas las técnicas de tubos sumergidos. En 1954, Reid y Breton llevaron a cabo investigaciones que arrojaron resultados aceptables para la separación de sales utilizando membranas, pues obtuvieron un rechazo cercano al 98% haciendo uso de membranas planas de acetato de celulosa. El año siguiente se empezaron realizar estudios que relacionaban la electrodiálisis con la desalinización (CADENA, 2018). En 1960 existían en total 5 plantas desalinizadoras que producían alrededor de 5011 m³/día de agua potable. En este mismo año, Loeb y Sourirajan crearon una membrana semipermeable de acetato de celulosa, y abrieron paso a las investigaciones del proceso de Ósmosis inversa. La destilación súbita multi-etapa evolucionó y se empezaron a desarrollar los procesos de la destilación multi-efecto (MED) y compresión de vapor (CADENA, 2018).

En los años 70, se empezaron a comercializar las membranas de procesos como la electrodiálisis y la ósmosis inversa, provocando un aumento significativo y exponencial del uso de la desalación como alternativa de obtención de agua potable. En 1972 se desarrolló una membrana para agua de mar que podía obtener una separación del 99%; se modificó el material de composición, cambiando el acetato de celulosa por poliamida aromática (CADENA, 2018).

En el comienzo del nuevo milenio, se estimaba que la capacidad total instalada mundial era de aproximadamente 13.600 plantas, produciendo alrededor de 26'.000.000 m³ /día, de los cuáles cerca de 14'000.000 m³ /día correspondían a agua de mar y otros 12'000.000 m³ /día se obtenían a partir de aguas salobres (CADENA, 2018).

La técnica de la ósmosis inversa tomaba más ventaja, y para el año 2003 el 47% de la capacidad instalada en todo el mundo utilizaba esta tecnología, mientras que otro 36% se

mantenía en el uso de la MSF; el 17% restante corresponde a técnicas en estudio y que no han podido dominar el mercado por sus costos y/o disponibilidad (CADENA, 2018).

En el 2004 fueron instaladas 22 plantas de desalinización que aportaron una producción de 1'541.981 m³ /día de agua potable a partir de agua de mar y 109.382 m³ /día proveniente de aguas salobres. La técnica de la ósmosis inversa se ha convertido en la favorita a nivel mundial gracias a la reducción de los precios de las membranas y, paralelamente, el aumento de la calidad de las mismas (CADENA, 2018).

En Colombia, en el Departamento de la Guajira cuenta con el dinero para invertir en una planta desalinizadora, gracias a que recibe regalías por la explotación de gas, petróleo y carbón (En el año 2013 recibo 258 millones de dólares en regalías únicamente del Cerrejón). Gracias a que la Guajira está rodeada de mar es muy fácil encontrar una ubicación para una planta desalinizadora. De hecho, se han construido pequeñas plantas desalinizadoras en algunos municipios como: Uribía, Cabo de la vela, Manaure y en la ciudadela del Cerrejón entre otros (ANeIA, 2015).

Métodos para la desalinización

Existen varios métodos para realizar la desalación del agua como lo es la osmosis inversa, desalinización térmica, congelación, evaporación relámpago, electrodiálisis y destilación. En este proyecto se llevó a cabo el método para la desalinización de aguas duras por destilación.

Desalinización en Colombia

El agua es el recurso más precioso del planeta, esencial para la salud, los alimentos, la energía y el buen funcionamiento de la naturaleza. Por mucho tiempo Colombia se consideraba una

potencia hídrica. Con seis nevados, 44% de los páramos de Sudamérica, cinco vertientes hidrográficas, 30 grandes ríos, 1277 lagunas y más de 1.000 ciénagas, el agua es una de las mayores riquezas del país.

En Colombia la desalinización es un proceso con poco desarrollo, aun cuando existen zonas con escasez hídrica por constantes sequías como la Guajira, o poblaciones que tienen un difícil acceso a agua potable como el departamento de San Andrés y Providencia (CADENA, 2018).

El Gobierno de Corea del Sur dono una planta de desalinización a Colombia, convirtiéndola como la primera en el país, la cual llegó a la Guajira y fue entregada por la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgos y Desastres y será operada por la Cruz Roja Colombiana.

Esta planta, cuenta con una capacidad de producción de 68 mil litros de agua al día, será la encargada de tratar el agua de mar y agua de pozo con condiciones salinas para convertirla en agua apta para el consumo humano, beneficiando así a las poblaciones de los municipios de Uribia y Manaure del Departamento de la Guajira.

Destilación

Se define como la operación cuyo fin es la separación de dos o más líquidos miscibles mediante la ebullición, en donde los vapores obtenidos se recuperan y se condensan como producto deseable; dichos vapores son más ricos en el líquido o líquidos más volátiles, mientras que los fondos, o líquidos remanentes, son más ricos en las sustancias menos volátiles.

En la desalinización la destilación se realiza mediante varias etapas una parte del agua salada se evapora y se condensa en agua dulce, la presión y la temperatura van descendiendo en cada etapa lográndose la concentración de la sal resultante.

Disponibilidad de agua subterránea en Colombia

El aprovechamiento de las aguas subterráneas en la mayor parte del territorio colombiano es todavía muy incipiente, entre otras cosas, por desconocimiento del potencial de tales recursos, tanto a nivel regional como local. Existen en el país grandes áreas susceptibles de ser incorporadas al desarrollo del país, en las cuales hay recursos de agua subterránea que podrían utilizarse para suplir necesidades de agua para diferentes usos (RODRÍGUEZ, VARGAS, JARAMILLO, PIÑEROS, & CAÑAS, 2010).

La necesidad de realizar estudios de aguas subterráneas se ha venido incrementando debido a que el agua, en general, constituye un recurso día a día más valioso, dado el descenso progresivo de la “disponibilidad per cápita” de recursos hídricos como consecuencia, principalmente, del crecimiento de la población y de la contaminación de aguas superficiales, sumados a la variabilidad climática que incide sobre la distribución espacial y temporal del agua (RODRÍGUEZ, VARGAS, JARAMILLO, PIÑEROS, & CAÑAS, 2010).

La revisión, ajuste y actualización del diagnóstico del conocimiento del agua subterránea en Colombia se realizó de acuerdo a la información consolidada que tiene el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con base en la información existente en el Atlas Hidrogeológico de Colombia, a escala 1:500.000, realizado por INGEOMINAS y en estudios hechos por Corporaciones regionales y universidades.

Este diagnóstico sobre aguas subterráneas se realizó en veintisiete (27) de los 32 Departamentos del país, debido a que los Departamentos de Guainía, Guaviare, Putumayo, Vichada y Vaupés no cuentan con información hidrogeológica. El diagnóstico presenta las

generalidades sobre los acuíferos existentes en cada zona y las reservas de aguas subterráneas reportadas en el Estudio Nacional del Agua - ENA, 2010.

Marco legal

El estado colombiano debe garantizar la calidad de agua ya sea para riego o para el consumo humano, donde se tienen en cuenta sus características físicoquímicas, con el fin de fijar su uso y posibles aprovechamientos de estas. El marco legal de esta investigación contendrá todas las normativas que serán empleadas y referenciadas en el diseño de la propuesta de un sistema desalinizador por evaporación para el tratamiento de agua subterránea.

Tabla 1

Normativa relacionada

Norma	Emisor	Descripción
Decreto 1076 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)
Decreto 3930 de 2010	Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial	“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI- Parte 11I- Libro 11 del

Norma	Emisor	Descripción
		Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos liquidas y se dictan otras disposiciones”. (Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)
Resolución 2115 de 2007	Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial	“Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. (Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

Fuente: Autores.

Metodología

Diseño metodológico

El diseño metodológico empleado para la realización de la investigación es de tipo cuantitativa, el objetivo de este estudio fue evaluar un sistema de desalinización por evaporación para aguas duras, para esto se realizó el diseño y construcción del sistema a evaluar, este sistema se basó en el ciclo del agua, teniendo en cuenta que el agua evaporada por la luz del sol se condensa en forma de nubes para luego precipitarse. El sistema desalinizador por evaporación consiste en calentar el agua dura hasta su punto de ebullición (100°C), dicha agua convertida en vapor pasa a una cabina de vidrio en donde se lleva a cabo la condensación por la diferencia de temperaturas, dando como resultado agua desalada la cual es recolectada al final del proceso.

Se llevó a cabo la recolección de muestras de aguas duras en 2 zonas de la ciudad de Barranquilla, las cuales usan para sus actividades agua de pozo, la Universidad De La Costa CUC y el Lavadero de Carros Lucciana Car Wash, estas fueron objeto de tratamiento, arrojando resultados cuantitativos.

MATERIALES DEL PROTOTIPO

2 placas de vidrio cuadradas con dimensiones 34.5 cm x 34.5 cm, con un grosor de 5mm.
2 placas de vidrio triangulares con base de 32cm y altura de 29.3 cm, con un grosor de 4mm.

1 Recipiente de aluminio con tapa con diámetro de 20cm y profundidad 7.8 cm.

1 Tubo cuadrado de aluminio de 43.3 cm.

4 tubos PVC 36 cm.

4 codos PVC de ½"

1 Te de PVC

1 Recipiente cuadrado de plástico.

1 Estufa eléctrica.

1 Beaker de 500 ml.

4 soportes de plástico.

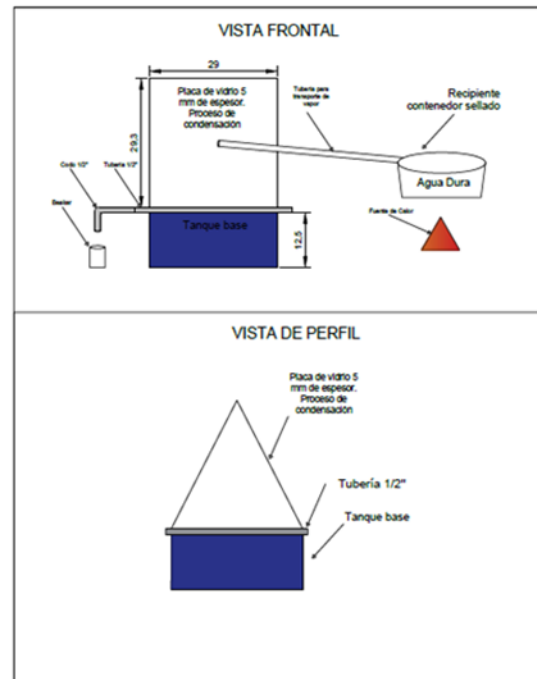


Figura 1: Diseño del sistema de tratamiento. **Fuente:** Autores 2019.

Para la construcción de sistema desalinizador por evaporación se siguieron los pasos que se detallan continuación.

1. En una de las láminas triangulares de vidrio se realizó un corte circular con un diámetro de 5 cm, por medio del cual pasara el tubo de aluminio, además de realizar unos cortes diagonales a las puntas inferiores tanto de las láminas cuadradas como triangulares.



Figura 2. Corte circular del vidrio. **Fuente:** Autores.

2. Haciendo uso de la silicona para vidrio, se les dio forma a unas canaletas en las láminas de vidrio sobre las zonas cortadas, para así poder dirigir el agua resultante.



Figura 3. Canaletas de silicona. **Fuente:** Autores.

3. En una lámina triangular se pegó las 2 láminas cuadradas en los laterales, para posteriormente pega la otra lamina triangular y así crear un techo de vidrio.



Figura 4. Cabina de vidrio. Fuente: Autores.

4. Se le realizó un corte diagonal al tubo de aluminio para formar una salida, y la parte sobrante se unió al otro extremo del tubo, haciendo que este tuviera una elevación de 30° .



Figura 5. Tubo de aluminio. Fuente: Autores.

5. Se le realiza un agujero a la tapa del recipiente de aluminio y se le adhirió el tubo de aluminio.



Figura 6. Tapa del recipiente y tubo de aluminio. Fuente: Autores.

6. A los tubos de PVC se les realizo unas pequeñas aberturas, con el fin de que en estos se recolecte el agua, seguidamente se pasa a armar la tubería de forma cuadrada haciendo uso de 3 codos de PVC y la T, en esta última se añade el codo restante a modo de salida.



Figura 7. Abertura de tubos PVC. Fuente: Autores.

7. Se pega la tubería con la estructura de vidrio, procurando que el lado de salida este en el lado opuesto a la placa de vidrio con el agujero, y se monta en sobre el recipiente cuadrado de plastico al cual con anterioridad se le colocaron los 4 soportes de plástico.



Figura 8. Montaje de la cabina. Fuente: Autores.

8. Para completar el sistema se introduce el tubo de aluminio a través del agujero y se monta el recipiente de aluminio en el cual se almacenará el agua dura, sobre la estufa eléctrica.



Figura 9. Montaje final del desalinizador. Fuente: Autores.

Funcionamiento del prototipo.

1. Se vierten 500ml de agua dura en el recipiente de aluminio, el cual se tapa y luego se pone a calentar en una estufa eléctrica hasta alcanzar una temperatura de 100°C, provocando que esta se evapore y pase a la estructura de vidrio.
2. Luego de que el vapor de agua pasa a la estructura de vidrio, este al tener tendencia a subir choca con el vidrio opacándolo.
3. El agua evaporada al entrar en contacto con el vidrio se condensa pasando de ser vapor a líquido y desciende por el mismo hasta llegar a los canales formados con tubos de PVC, finalmente el agua destilada se transporta hacia el recipiente teniendo como resultado 300ml de agua tratada, aproximadamente una (1) hora después de iniciado el tratamiento.

Toma de muestras de agua subterránea.

El agua de pozo utilizada se recolectó en 2 zonas en la ciudad de Barraquilla, se tomaron 12 muestras de agua en total, con el fin de analizar sus características en el laboratorio antes y después de la desalinización.

Fueron transportadas en recipientes plásticos estériles para su respectivo análisis fisicoquímico, cumpliendo con los requisitos para la manipulación y custodia de la muestra según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000, título e (RAS 2.000. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, 2000).

Por último, se llevaron al laboratorio del centro de investigaciones tecnológicas ambientales (CITA) en las instalaciones de la universidad de la costa CUC.

Las muestras de agua fueron caracterizadas y los resultados promediados fueron comparados con los límites permisibles que establece la resolución 2115 de 2007 por medio de la cual señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

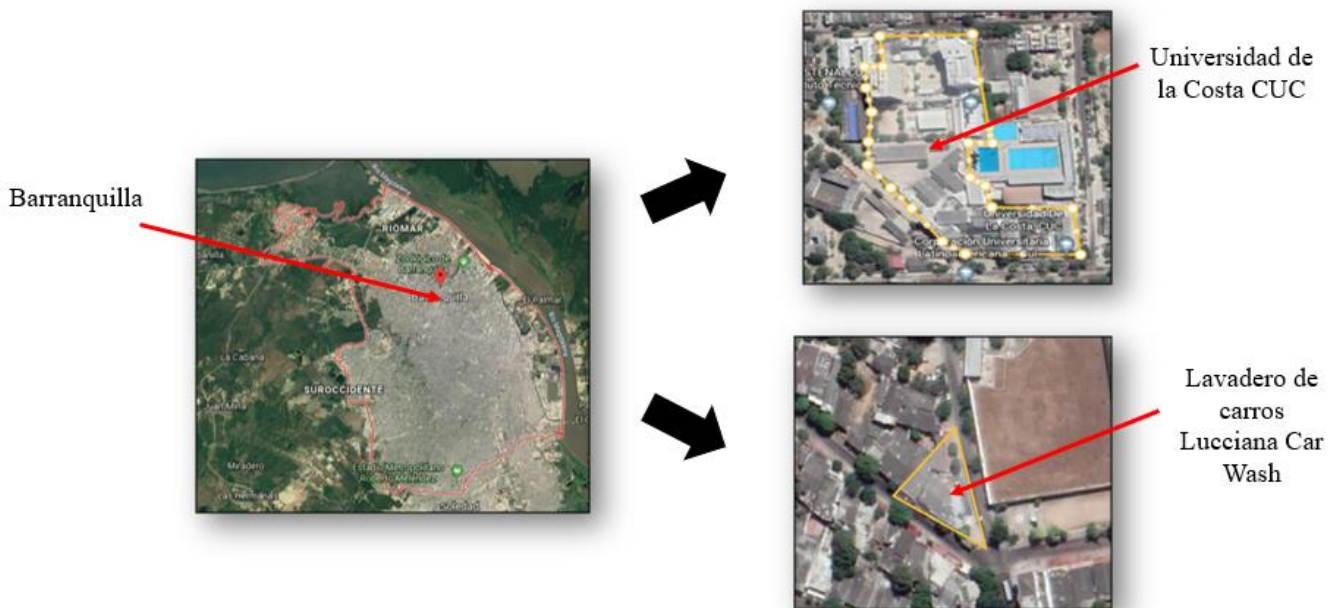


Figura 10. Ubicación de la toma de muestras. **Fuente:** Autores.

Caracterización fisicoquímica

Se realizó la caracterización de parámetros como la turbiedad, color pH, alcalinidad, conductividad, dureza, dureza cálcica, salinidad y temperatura en las instalaciones del laboratorio de la universidad de la costa CUC de las muestras recolectadas en el Lavadero Luciana Car Wash y en la universidad de la costa CUC, las cuales se repitieron tres veces cada una con el fin de que sus resultados sean más precisos; los métodos para realizar dichas caracterizaciones se encuentran en el libro “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (E.W. Rice, 2017).

Tabla 2

Parámetros y técnica de análisis.

Parámetros	Técnica Analítica	Equipo
Turbiedad	Turbidímetro	Multiparámetro YSI 556MPS
Color	Colorimetría	Colorímetro
pH	Potenciómetro	Multiparámetro YSI 556MPS
Conductividad	Electrométrico	Multiparámetro YSI 556MPS
Temperatura	-----	Termómetro de mercurio
Alcalinidad	2320B volumétrico	-----

Parámetros	Técnica Analítica	Equipo
Dureza total	2340C Volumétrico	-----
Dureza cálcica	2340C Volumétrico	-----
Salinidad	-----	Multiparámetro YSI 556MPS

Fuente: Autores.

Resultados y discusión

Sistema de desalinización por evaporación

Para llevar a cabo la desalinización del agua dura, primeramente, se diseñó y llevo a cabo un prototipo de un sistema de desalinización por evaporación.



Figura 11. Sistema desalinizador por evaporación. Fuente: Autores.

Análisis de resultados muestras fisicoquímicas

Los análisis de las muestras se llevaron a cabo en el laboratorio CITA ubicado en las instalaciones de la universidad de la Costa CUC, donde se realizaron las caracterizaciones fisicoquímicas en los parámetros de pH, Conductividad, Salinidad, Turbiedad, Alcalinidad, Dureza Total, Dureza Cálcica, Color y Temperatura. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las dos muestras de agua los días 4 y 17 de julio de 2018.

Tabla 3

Resultados de la caracterización del lavadero Lucciana Car Wash. 4 de julio de 2018

Características fisicoquímicas Lavadero Luciana Car Wash			Valor Límite Máximo Permisible Resolución 2115
	Inicial	Tratada	
pH	6,04	5,55	6,5 y 9,0
Conductividad (US)	103,3	27,66	1000 ms
Salinidad (PPT)	0,1	0	----
Turbiedad (NTU)	0,463	1,03	2
Alcalinidad	86,66	26,66	200
Dureza total	93,33	46,66	300
Dureza cálcica	65	48,3	----
Color (UPC)	16,66	20	15
Temperatura (°C)	24	24	----

Fuente: Autores

Tabla 4

Resultados de la caracterización de la Universidad de la costa CUC. 4 de julio de 2018

Características fisicoquímicas Universidad de la costa CUC			Valor Límite Máximo Permisible Resolución 2115
	Inicial	Tratada	
pH	7	5,56	6,5 y 9,0.
Conductividad (US)	0,584 ms	10,06	1000 ms
Salinidad (PPT)	0,3	0	----
Turbiedad (NTU)	0,22	1,04	2
Alcalinidad	440	26,66	200
Dureza total	406,5	45	300
Dureza cálcica	270	45	----
Color (UPC)	21,66	20	15
Temperatura (°C)	24	24	----

Fuente: Autores

Tabla 5

Resultados de la caracterización del lavadero Lucciana Car Wash. 17 de julio de 2018

Características fisicoquímicas Lavadero Lucciana Car Wash	Valor Límite Máximo Permisible Resolución 2115		
	Inicial	Tratada	
pH	5,58	4,35	6,5 y 9,0.
Conductividad (US)	98,53	13,23	1000 ms
Salinidad (PPT)	0,03	0	----
Turbiedad (NTU)	0,59	0,596	2
Alcalinidad	63	18	200
Dureza total	81,5	43	300
Dureza cálcica	71.5	53	----
Color (UPC)	20	15	15
Temperatura (°C)	24	24	----

Fuente: Autores

Tabla 6

Resultados de la caracterización de la Universidad de la costa CUC. 17 de julio de 2018

Características fisicoquímicas Universidad de la costa CUC	Valor Límite Máximo Permisible Resolución 2115		
	Inicial	Tratada	
pH	6,74	5,14	6,5 y 9,0.
Conductividad (US)	0,491ms	12,66	1000 ms
Salinidad (PPT)	0,2	0	----
Turbiedad (NTU)	0,26	0,973	2
Alcalinidad	390	20	200
Dureza total	381,5	35	300
Dureza cálcica	175	31,5	----
Color (UPC)	18,33	20	15

Temperatura (°C)	24	24	----
------------------	----	----	------

Fuente: Autores

En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados obtenidos el día 4 de julio de 2018, y en las tablas 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos el día 17 de julio de 2018, des las caracterizaciones realizadas al agua del lavadero Lucciana Car Wash y de la Universidad De La Costa CUC respectivamente, antes y después de realizarse el tratamiento, además se realiza una comparación con la resolución 2115 de 2007 donde nos muestra los valores permisibles aceptables para el consumo humano y el decreto 3930 de 2010 contenido en el decreto 1076 de 2015 en el Artículo 2.2.3.3.2.1. Usos del agua, Indica que estas aguas pueden ser utilizadas para consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, uso agrícola, pecuario e industrial.

En parámetro de pH presenta una variación en los resultados obtenidos pasando a ser de 6,04 a 5,55 (ver tabla 3) y 5,58 a 4,35 (ver tabla 5) el en el caso del lavadero Luciana Car Wash, mientras que en la muestra de la Universidad De La Costa CUC paso a ser de 7 a 5,56 (ver tabla 4) y 6,74 a 5,14 (ver tabla 6). En todos los casos el agua desalinizada resulto ser más acida que el agua muestra es decir el agua dura, esto se puede explicar debido a que las sales hacen la labor de neutralizantes y al ser retiradas del agua esta se acidifica, algo que se relaciona muy bien con la disminución de la alcalinidad que se presentan en todos los casos estudiados.

Para el parámetro de SALINIDAD el método resulto ser efectivo, presentando una eficiencia de remoción de un 100% de la sal. Por otra parte, en los parámetros de Dureza total y Dureza cálcica, la remoción no fue total; en las muestras de la lavandería de autos Luciana Car Wash, la remoción de la dureza total fue entre un 50 y 47,23%, mientras que en el agua procedente de la Universidad De La Costa – CUC la remoción estuvo entre un 88,92 y 90,82%, demostrando que el sistema si es funcional al momento de remover la dureza, pero esta remoción puede variar

dependiendo del origen del agua, además de demostrar que aunque se remueva toda la sal del agua está aún puede conservar dureza en ella causa por otros factores. Un caso similar ocurre con la dureza cálcica cuya remoción fue más eficiente en el caso del agua de la universidad de la costa obteniendo una remoción entre 83.33 y 82% mientras que la remoción de este parámetro en las muestras del lavadero fue de un 25.69 y 25.87%.

Otra variante que presentaron los resultados está en los valores de color y turbiedad. en el caso del color, este al inicio de los muestreos mostraba un valor que oscilaba entre 5 y 10 UPC, pero al analizar a las muestras destinadas para este valor cambio a estar entre 10 y 20 UPC valor que se mantenía aun después de realizado el tratamiento, esto puede deberse a que durante los días en que se realizaron las prácticas para el tratamiento, los tubos en los cuales es vertida el agua para su análisis en el colorímetro les faltaba sus respectivas tapas, cosa que pudo haber alterado los resultado; para el caso del turbidímetro ocurría que luego de realizar el tratamiento la turbiedad del agua subía, esto puede ser debido a que el sistema utilizado para el tratamiento del agua era muy difícil de limpiar, por lo cual no es posible asegurar una limpieza correcta del mismo, cosa que puede haber interferido con estos valores.

Al probar el agua antes del tratamiento se puede sentir el sabor un poco terroso o hasta jabonosa cosa que no sucede al probarla luego de su tratamiento ya que su sabor es más parecido al agua tratada por las empresas encargadas de potabilizar el agua.

Está agua no es apta para el consumo humano, cosa que se pudo confirmar al realizar una comparación de nuestros resultados con la norma Colombia (Resolución 2115 de 2007) por lo que no puede ser destinada para esto, a no ser que la misma sea sometida a otros tratamientos adicionales para hacerla potable en todo el sentido de la palabra. Por otra parte, el IDEAM en su

estudio “Oferta y uso de agua subterránea en Colombia” dice que el agua subterránea sirve para actividades de uso industrial, domésticas y de servicios, mas no es utilizada en el sector agropecuario. Según el decreto 1076 de 2015 en su Artículo 2.2.3.3.9.5. Transitorio. Criterios de calidad para uso agrícola se encuentra una tabla en la que se muestran los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola, el pH permitido para esto es de 4-5 – 9.0 unidades, valor que se encuentra dentro del rango de nuestra agua tratada, lo cual lo hace una oportunidad para empezar a utilizar las aguas desalinizadas en este sector.

Eficiencia

Para calcular la eficiencia del prototipo se utilizó la siguiente ecuación.

Ecuación 4. Medición de Eficiencia

$$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100\%$$

Donde, **So** es el valor inicial del parámetro y **S** es el valor del parámetro luego del tratamiento. En la tabla 7 se muestra la eficiencia de remoción en los parámetros de Salinidad, dureza total, y dureza cálcica.

Tabla 7

Eficiencia de remoción.

	Eficiencia de remoción		
	Salinidad	Dureza total	Dureza cálcica
Lucciana Car			
Wash	100%	50%	25.29%
Muestra 1			

Lucciana Car			
Wash	100%	47.23%	25.87%
Muestra 2			
Universidad de la			
Costa CUC	100%	88.92%	83.33%
Muestra 1			
Universidad de la			
Costa CUC	100%	90.82%	82%
Muestra 2			
PROMEDIO	100%	69.24%	54.22%

***Fuente:** Autores*

El desalinizador por evaporación muestra ser efectivo al momento de retirar las sales disueltas, teniendo una eficiencia de 100% en todos los casos. En el caso de la remoción de la dureza probó ser más efectivo en las muestras de la universidad de la costa CUC, donde la eficiencia de remoción ronda entre el 80 y 90% de eficiencia, mientras que en las muestras de Lucciana Car Wash apenas si alcanzan el 50%. Dejando al desalinizador por evaporación con un promedio de remoción de la dureza de un 69.24%.

Con la dureza cálcica ocurre un caso similar, siendo que la que presenta el menor porcentaje de remoción son las muestras de Lucciana Car Wash las cuales rondan el 25%, todo lo contrario, a lo obtenido de las muestras de la universidad de la costa CUC cuya remoción de la dureza cálcica es superior al 80%, pero debido al bajo porcentaje de remoción que tuvo con las muestras de Lucciana Car Wash, deja al desalinizador por evaporación con un promedio de remoción de la dureza calcica de 54.22%

Conclusiones

El tema de la desalinización de aguas duras, por lo menos en lo referente a realizarse por medio de destilación no es muy abarcado actualmente, dado que la gran mayoría de información, por no decir toda, referente al tema de desalinización de aguas bien sea por osmosis inversa, destilación o por otros métodos está enfocado es en aguas marítimas o salobres, lo cual no es de extrañar debido a que cuando alguien piensa en desalinizar agua lo primero que llega a la mente es el agua marina y las aguas subterráneas quedan en un segundo plano debido a que esta primera fuente es mucho más visible y fácil de conseguir, sin contar que los acuíferos, de donde proviene el agua subterránea, son fuentes hídricas limitadas y la sobre explotación de las mismas puede generar un impacto negativo al ecosistema, pero esto no significa que no se pueda hacer uso de las mismas, siempre y cuando este sea de manera responsable, ya que el objetivo no es subsanar un medio dañando otro.

El sistema, muestra ser eficiente al momento de retirar las sales disueltas, teniendo un 100% de efectividad. En lo referente a retirar la Dureza la efectividad del sistema varia, siendo más eficiente en las muestras de agua de la universidad de la costa y teniendo un resultado aceptable con las muestras obtenidas del lavadero de autos Luciana Car Wash, teniendo una efectividad de remoción de la dureza de un 69.24% lo que significa que, aunque no la remueve por completo, si reduce en gran medida la dureza antes contenida en estas aguas. Sin embargo, al momento de comparar los valores obtenidos con la normativa nos muestras que el agua no es apta para el consumo humano, pero si posible usarla en otro tipo de actividades como la limpieza o el riego.

Este tipo de sistemas puede ser utilizado para proveer de agua potable a poblaciones pequeñas, si bien lo han demostrado Palacin, J., & Montenegro, J., **Pérez Vanegas, J. J.**,

Salazar Romero, A., & Álvarez Martínez, B. D. y Torres, B., Ferney, E., Martínez, V., & Stewart, R con sus proyectos y también reafirman **Arreguín Cortés, F. I., & Martín Domínguez, A.**, pero, para que este diseño en particular pueda llegar a cumplir esa función, es necesario realizarle algunos ajustes.

Recomendaciones

Si se desea utilizar este diseño de desalinizador por evaporación a gran escala se debe realizar una mejora a la fuente de calor y agregar un sistema de enfriamiento para acelerar el proceso de condensación, el cual debe hacerse de forma que sea herméticamente cerrada para evitar fugas de vapor o agua.

Se tuvo muchos problemas al momento de la limpieza del prototipo, por lo que este debería adecuarse de una manera en la que sea cómodo y fácil su limpieza, ya que de lo contrario esto puede llegar a afectar la calidad del agua con respecto a esto, el modelo por sí solo no garantiza que el agua tratada sea potable por lo que debe ser acompañado de un proceso de desinfección y neutralización del pH.

Las sales restantes de este proceso para que no se conviertan en una problemática ambiental deben ser dispuestas correctamente o pueden ser utilizadas en otros procesos económicos, como la industria cosmética.

Referencias

- ANeIA. (2015). *La Desalinización como fuente de agua potable*. Obtenido de <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/02/18/la-desalinizacion-como-fuente-de-agua-potable/>
- Aquae Fundación. (2015). *Las aguas subterráneas*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/otros/las-aguas-subterraneas/>.
- Aquae Fundación. (2017). *Historia de la desalinización del agua*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/historia-del-agua/historia-de-la-desalinizacion-del-agua/>
- Barrios, D. F. (2016). *Pozos profundos de agua, una alternativa para mitigar la sequía*. Obtenido de <https://www.elheraldo.co/local/pozos-profundos-de-agua-una-alternativa-para-mitigar-la-sequia-250174>
- CADENA, A. F. (2018). *DESALINIZACIÓN DEL AGUA: ¿UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA?* Obtenido de <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/7141/1/159039-2018-I-GA.pdf>
- E.W. Rice, R. B. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- El Espectador. (09 de Junio de 2019). *Crisis del agua: una advertencia de la Ciudad del Cabo*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/el-mundo/crisis-del-agua-una-advertencia-de-la-ciudad-del-cabo-articulo-865108>
- El Tiempo. (16 de julio de 2000). *AGUA DEL SUBSUELO PARA CONSUMO HUMANO*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1281544>

El Tiempo. (2015). *Las cifras que demuestran por qué Colombia es un país de migraciones*.

Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/especial-con-datos-sobre-las-migraciones-internas-en-colombia-264990>

Facsa. (2017). *La dureza del agua*. Obtenido de <https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/>

FERRER, J. (2010). Obtenido de <https://metodologia02.blogspot.com/p/operacionalizacion-de-variables.html>

Foster, S., & Loucks, D. P. (2006). *Non-renewable groundwater resources: a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers*. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000146997>

Fundación Aquae. (2013). *Cuanta agua hay en la tierra*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-hay-en-la-tierra-2/>

IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

IDEAM. (mayo de 2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, (IDEAM). (2001). *El medio ambiente en colombia*. Obtenido de El Agua:

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>

Lemus, P. (2017). *Cobertura de agua potable en el Atlántico es de 98.6%": Pedro Lemus*.

Obtenido de <http://zonacero.com/generales/cobertura-de-agua-potable-en-el-atlantico-es-de-986-pedro-lemus-79504>

Lenntech. (2019). *Fuentes de contaminación de aguas subterráneas*. Obtenido de

<https://www.lenntech.es/agua-subterranea/fuentes-contaminacion.htm#ixzz60IwBZEvC>

Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *OBSERVATORIOS AMBIENTALES*

URBANOS. Obtenido de Consumo doméstico de aguas per cápita. :

<http://www.minambiente.gov.co/index.php>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guia Metodologica para la*

Formulacion de Planes de Manejo Ambiental de Acuiferos. Obtenido de

http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Manejo_de_acuiferos/GU%C3%8DA_FORMULACI%C3%93N_PLANES_ACU%C3%8DFEROS.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076*. Obtenido de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (2015). *RESOLUCIÓN 631*. Obtenido de

https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf

Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Decreto 3930*. Obtenido de

http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL . (2018). *INFORME NACIONAL DE*

CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO INCA 2016. Obtenido de

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/ssa-inca-2016.pdf>

Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *RESOLUCIÓN 2115*. Obtenido de

http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legisla%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

- PÉREZ, J., & SALAZAR, A. (2015). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN PROTOTIPO DE DESTILADOR SOLAR EN LA CIUDAD DE CARTAGENA*. Obtenido de <http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/11227/2356/1/TESIS.pdf>
- RAS 2.000. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000* . Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- RODRÍGUEZ, C. O., VARGAS, N. O., JARAMILLO, O., PIÑEROS, A., & CAÑAS, H. (2010). *OFERTA Y USO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN COLOMBIA*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP4.pdf>
- Secretaria Distrital de ambiente. (2019). *Recurso hídrico subterráneo*. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2019). *Recurso hídrico subterráneo*. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>
- UNESCO. (2003). *Agua para todos, agua para la vida: informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129556_spa.
- WWF. (2016). *Living Planet*. Obtenido de Riesgo y resiliencia en una nueva era: http://awsassets.panda.org/downloads/informe_planeta_vivo_2016.pdf

Anexos***Anexo 1. Elaboración del prototipo***

Figura 12. Prototipo Desalinizador. Fuente: Autores.

Anexo 2. Evidencia de la Recolección de muestra.

Figura 13. Recolección de muestra Lavadero Lucciana Car Wash. Fuente: Autores.



Figura 14. Recolección de muestra Universidad de la Costa. **Fuente:** Autores.

Anexo 3. Evidencia de la Caracterización de la muestra.



Figura 15. Caracterización de la muestra. **Fuente:** Autores.



Figura 16. Método de titulación de la muestra. **Fuente:** Autores.

Anexo 4. Evidencia de la remoción de sales.



Figura 17. Remoción de sales. **Fuente:** Autores.

*Anexo 5. Datos obtenidos en el laboratorio de la caracterización fisicoquímica.***Tabla 8.***Características fisicoquímicas Lavadero Luciana Wash. 4 de julio 2018*

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS LAVADERO LUCIANA WASH.		
	Inicial	Tratada
pH	5,66	5,81
	5,96	5,28
	6,51	5,56
Promedio	6,04	5,55
Conductividad (US)	102,3	30,3
	103,6	26,6
	104	26.1
Promedio	103,3	27,66
Salinidad (PPT)	0,1	0,0
	0,1	0,0
	0,1	0,0
Promedio	0,1	0

	0,64	1,05
Turbiedad (NTU)	0,41	1,05
	0,34	0,99
Promedio	0,463	1,03
	10	20
Color (UPC)	20	20
	20	20
Promedio	16,66	20
	24	24
Temperatura (°C)	24	24
	24	24
Promedio	24	24

Fuente: Autores.

Tabla 9.

Características fisicoquímicas Lavadero Luciana Wash. 4 de julio 2018. Método Titulación

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS LAVADERO LUCIANA WASH.						
Replica	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada

	Alcalinidad (ml gastados)	Alcalinidad (ml gastados)	Dureza total (ml gastados)	Dureza total (ml gastados)	Dureza cálcica (ml gastados)	Dureza cálcica (ml gastados)
1	1,9	0,6	1,7	1,2	1,2	1,3
2	1,7	0,5	2,2	1,1	1,5	0,4
3	1,6	0,5	1,7	0,5	1,2	1,2
Promedio	1,73	0,533	1,86	0,933	1,3	0,966

Fuente: Autores.

Tabla 10.

Características fisicoquímicas Universidad De La Costa. 4 de julio 2018.

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS UNIVERSIDAD DE LA COSTA		
	Inicial	Tratada
pH	6,92	5,48
	7,08	5,56
	7,00	5,66
Promedio	7	5,56
Conductividad (US)	0,603	10,2
	0,562	10,1
	0,587	9,9
Promedio	0,584 ms	10,06
Salinidad (PPT)	0,3	0,0

	0,3	0,0
	0,3	0,0
Promedio	0,3	0
	0,21	1,05
Turbiedad (NTU)	0,22	0,99
	0,24	1,09
Promedio	0,22	1,04
	20	20
Color (UPC)	25	20
	20	20
Promedio	21,66	20
	24	24
Temperatura (°C)	24	24
	24	24
Promedio	24	24

Fuente: Autores.

Tabla 11.

Características fisicoquímicas Universidad De La Costa. 4 de julio 2018 Método Titulación

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS UNIVERSIDAD DE LA COSTA						
Replica	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada
	Alcalinidad (ml gastados)	Alcalinidad (ml gastados)	Dureza total (ml gastados)	Dureza total (ml gastados)	Dureza cálcica (ml gastados)	Dureza cálcica (ml gastados)
1	8,4	0,6	8,1	1	4,9	0,5
2	9	0,5	7,8	0,8	6,4	1,3
3	9	0,5	8,5	0,9	4,9	0,9
Promedio	8,8	0,533	8,13	0,9	5,4	0,9

Fuente: Autores.

Tabla 12.

Características fisicoquímicas Lavadero Luciana Wash. 17 de julio 2018

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS LAVADERO LUCIANA WASH.		
	Inicial	Tratada
	5,39	3,96
pH	5,55	4,48
	5,81	4,63
Promedio	5,58	4,35
	95,5	14,1
Conductividad (US)	98,8	13

	101,3	12,6
Promedio	98,53	13,23
	0,0	0,0
Salinidad (PPT)	0,0	0,0
	0,1	0,0
Promedio	0,03	0
	0,62	0,54
Turbiedad (NTU)	0,58	0,61
	0,57	0,64
Promedio	0,59	0,596
	20	15
Color (UPC)	20	15
	20	15
Promedio	20	15
	24	24
Temperatura (°C)	24	24

	24	24
Promedio	24	24

Fuente: Autores.

Tabla 13.

Características físicoquímicas Lavadero Luciana Wash. 17 de julio 2018 Método Titulación

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS LAVADERO LUCIANA WASH						
Replica	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada
	Alcalinidad (ml gastados)	Alcalinidad (ml gastados)	Dureza total (ml gastados)	Dureza total (ml gastados)	Dureza cálcica (ml gastados)	Dureza cálcica (ml gastados)
1	1,4	0,3	1,5	1,2	1,1	0,9
2	1,3	0,4	1,8	1	1	2,7
3	1,1	0,4	1,6	0,4	1,1	0,7
Promedio	1,26	0,36	1,63	0,86	1,06	1,43

Fuente: Autores.

Tabla 14.

Características físicoquímicas Universidad De La Costa. 17 de julio 2018.

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS UNIVERSIDAD DE LA COSTA		
	Inicial	Tratada
	6,58	4,71
pH	6,79	5,30
	6,85	5,38

Promedio	6,74	5,14
	0,467	12,5
Conductividad (US)	0,486	12,8
	0,520	12,7
Promedio	0,491ms	12,66
	0,2	0,0
Salinidad (PPT)	0,2	0,0
	0,2	0,0
Promedio	0,2	0
	0,16	0,89
Turbiedad (NTU)	0,27	1,01
	0,35	1,02
Promedio	0,26	0,973
	15	20
Color (UPC)	20	20
	20	20

Promedio	18,33	20
	24	24
Temperatura (°C)	24	24
	24	24
Promedio	24	24

Fuente: Autores.

Tabla 15.

Características fisicoquímicas Universidad De La Costa. 17 de julio 2018 Método Titulación

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS UNIVERSIDAD DE LA COSTA						
Replica	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada	Inicial	Tratada
	Alcalinidad (ml gastados)	Alcalinidad (ml gastados)	Dureza total (ml gastados)	Dureza total (ml gastados)	Dureza cálcica (ml gastados)	Dureza cálcica (ml gastados)
1	7,9	0,3	7,9	0,6	3,5	0,5
2	7,7	0,3	8	0,9	3,9	1,1
3	7,8	0,6	7	0,6	3,1	0,3
Promedio	7,8	0,4	7,63	0,7	3,5	0,63

Fuente: Autores.